ELEMENTI
DI
FISICA SPERIMENTALE
E DI METEOROLOGIA
DI
M. POUILLET

SOCIO DELL' ACCADEMIA REALE DELLE SCIENZE DELL' ISTITUTO DI FRANCIA, PROFESSORE DI FISICA ALLA FACOLTA' DELLE SCIENZE DI PARIGI, PROFESSORE DI FISICA APPLICATA ALLE ARTI AL CONSERVATORIO REALE DI ARTI E MESTIERI, AMMINISTRATORE DI QUESTO STABILIMENTO, MEMBRO DELLA SOCIETA' FILOMATICA, DEL CONSIGLIO DELLA SOCIETA' D' INCORAGGIAMENTO ec. ec.

OPERA

ADOTTATA DAL CONSIGLIO REALE
D' ISTRUZIONE PUBBLICA PER LO INSEGNAMENTO DELLA FISICA
NEGLI STABILIMENTI DELL' UNIVERSITÀ.

QUINTA EDIZIONE

VOLTATA IN ITALIANO CON NOTE E GIUNTE

DI L. PALMIERI

E DEL CAV. MACEDONIO MELLONI

Verus experientiae ordo primum lumen accendit, deinde per lumen iter demonstrat.
BACON. *Nov. Org.*

TOMO SECONDO

NAPOLI
Per Vincenzo Puzziello Editore-Libraio
Strada Toledo n. 346 sotto il Palazzo Cavalcanti
1851

NAPOLI
Stabilimento Tipografico del Tramater
Strada S. Sebastiano N. 30 primo piano.
1851.

ELEMENTI

DI FISICA SPERIMENTALE

E DI

METEOROLOGIA

LIBRO QUARTO

DELLE AZIONI MOLECOLARI.

302. Un corpo, tanto se sia organico quanto se sia inorganico, può esser riguardato come un sistema in equilibrio; le parti onde è composto, o per dir meglio, le sue molecole le più vicine rimangono da più o meno grandi intervalli separate, e pure da queste distanze esse operano continuamente le une sulle altre per tenersi nelle rispettive loro giaciture, per attrarsi o repellersi, o da ultimo per comunicarsi gli sforzi e le pressioni cui vanno soggette. A queste scambievoli azioni delle molecole si è dato il nome di *azioni molecolari*. Assai malagevole sarebbe di porre una distinzione tra queste forze e le *forze chimiche*, le quali operano del pari dalle distanze medesime sopra tutte le molecole della materia; ma si può dire che le azioni chimiche tendono a generare i corpi ed a ridurli in un certo stato di equilibrio o di aggregazione, nell'atto che le azioni molecolari propriamente dette tendono a conservare i corpi o a mantenerli nello stato di equilibrio e di aggregazioni che han ricevuto. Le azioni molecolari, anche considerate sotto questo punto di vista, comprendono un campo assai vasto da render necessaria qualche divisione. Per la qual cosa noi ci faremo a ragionare in diversi capi della *capillarità*, della *struttura de'corpi* e della *elasticità*.

CAPO PRIMO.

CAPILLARITÀ.

303. Immergendo in un liquido l'estremo inferiore di un cannello di vetro, osservasi che la colonna liquida la quale penetra in questo non si arresta quasi mai al livello del liquido che sta al di fuori. In alcuni liquidi, come nell'acqua, essa monta alquanto in su (*fig.* 1), e nel mercurio rimane al di sotto (*fig.* 2). Cotesti singolari fenomeni di *elevazione* e di *depressione* son detti *fenomeni capillari*; e la forza, o vogliam dire la cagione generatrice di cosiffatti fenomeni, è stata ora *azione capillare*, ora *attrazione capillare*, o semplicemente *capillarità* denominata.

Nè questa forza opera solo innalzando o deprimendo le piccole colonne liquide entro i cannelli, ma vedremo che essa esercita anche il suo potere continuamente al contatto de'corpi liquidi co'solidi, de'liquidi fra loro ed anche de'solidi, ed in generale sempre che si toccano le più tenui particelle della materia ponderabile.

304. *Le lunghezze delle colonne innalzate o depresse sono tra loro in ragione reciproca dei diametri de'cannelli.* — È agevole il ravvisare, mercè l'esperienza, che generalmente le differenze di livello son tanto più grandi per quanto più piccoli sono i diametri de'cannelli. Tutto questo può osservarsi ne' quattro cannelli a sifone rappresentati nella figura 3. I due primi contengono acqua, e nel secondo, il cui diametro è meno della metà, l'elevazione è doppia; i due ultimi contengono mercurio, e nel quarto la depressione è anche doppia, avendo questo il diametro quanto la metà di quello del terzo. Volendo per altro fermar questa legge fondamentale su precise esperienze, egli è mestieri aver ricorso ad altra maniera di osservazioni.

Ecco intanto lo strumento del sig. Gay-Lussac. Un largo provino *a* (*fig.* 6) è fermato sopra un piede a viti di livello, affinchè il suo orlo superiore *b* possa esser disposto orizzontalmente. Il liquido contenuto nel provino s'innalza sino a *c*; il cannello capillare *d* è posto sopra una lamina *e*, la quale si appoggia sugli

orli del provino anzidetto; per mezzo di una scanalatura verticale ad incastro il cannello può andare su e giù. Allato del provino, a pochi pollici di distanza, sta una riga verticale *f*, sulla quale muovesi un cannocchiale *g*, da prima a strofinio, e poscia mercè una vite di richiamo, nel caso di piccoli movimenti. Per misurare l'altezza della colonna, si fa muovere innanzi tutto il cannocchiale fino a che il filo orizzontale del suo micometro sembri raderne la cima *s*; poi allontanando la lamina *e* verso gli orli del provino, si pone lateralmente a questa il pezzo *h*, e dopo d'averlo accomodato, si volge l'asta a vite *k*, fino a tanto che essa giunga rasente la superficie del liquido; indi per mezzo di una *pipetta*, si toglie un po' di liquido, e si nota il punto di partenza del cannocchiale, che si fa discendere a poco a poco fino a che la punta dell'asta cada sotto il filo; l'ampiezza di questa corsa è appunto l'altezza del liquido al di sopra del livello.

La seguente tabella contiene i risultamenti medj ai quali è pervenuto il sig. Gay-Lussac.

Nomi delle sostanze	Densità	Temperatura in gradi centigradi	Elevazione in un cannello il cui diametro = 1mm, 2944.	Elevazione in un cannello il cui diam. = 1mm, 9038.	Elevazione in un cannello il cui diametro =10mm,508.
Acqua	1	8° 5	23mm, 1634	15,5861	»
Alcool	0,8196	8°	9, 1823	6,4012	»
Id.	0,8595	10°	9, 301	»	»
Id.	0,9415	8°	9, 997	»	»
Id.	0,8135	16°	7, 078	»	0,3835
Essenza di terebintina.	0,8695	8°	9, 8516	»	»

Le varie densità sono state prese alle temperature indicate nella terza colonna.

La ragione inversa de'diametri de'due primi cannelli è di 1,474, e quella delle corrispondenti altezze è di 1, 486 per l'acqua e di 1,434 per l'alcool; onde si può aver come una legge dall'esperienza dimostrata, che le altezze delle colonne elevate sono in ragione inversa de'diametri de' cannelli. Calcolando per mezzo di questi dati le altezze delle colonne di acqua, di alcool e di essenza di terebintina, che dovrebbero elevarsi in un cannello di 1 millimetro di diametro, si trovano i numeri seguenti:

Nomi delle sostanze	Densità	Temperatura	Elevazione in un cannello il cui diam. = 1mm.
Acqua	1	8°,5	29mm,79
Alcool	0,8196	8°	12, 18
Id.	0,8135	16°	9, 15
Id.	0,8595	10°	12, 01
Id.	0,9415	8°	12, 91
Essenza di terebintina	0,8695	8°	12, 72

Abbiamo con diligenza notato le temperature e le densità, imperciocchè sembra che per uno stesso liquido le differenze di livello seguano la ragione delle densità.

I risultamenti che si hanno con questo metodo non dipendono punto dalla doppiezza de' cannelli e dalla materia onde sono formati, purchè questa possa essere dal liquido bagnata.

Prima di porre i cannelli alla prova è forza pulirne con diligenza le interne pareti da tutte le impurità da cui potrebbero essere lordate; è mestieri del pari scuotere la colonna liquida a molte riprese volendosene conoscere la vera altezza. Il diametro de' cannelli poi si determina col pesare il mercurio che contengono in una data lunghezza.

Vuolsi ancora notare, che quante volte in un cannello capillare assai stretto avvi *elevazione*, la cima della colonna liquida prende la forma di un *menisco concavo*, il quale è un emisferio dello stesso diametro del cannello (*fig.* 4); se poi per contrario avvi *depressione*, la cima della colonna liquida si conforma a *menisco convesso* (*fig.* 5). Coteste configurazioni sono essenzialmente connesse all'elevazione o alla depressione, imperocchè se la interna superficie di un cannello di vetro sia spalmata con corpo grasso, e l'estremo di questo cannello si immerga nell'acqua, non solo questa più non si eleverà come prima oltre il livello, ma rimarrà *depressa*, e la cima della colonna prenderà la forma di *menisco convesso*, siccome accade al mercurio nei cannelli ordinarj; dal che segue, *che le differenze di livello derivano dalla forma del menisco*, e quindi che tutte le cagioni accidentali che sono atte ad impedire a questo di prendere intieramente quella forma che gli converrebbe, impediscono che il liquido giunga [illegible] a quell'altezza in cui trovar dovrebbe la [illegible]abilità del suo equilibrio. Per la qual cosa immergendo nell'acqua un cannello che pare assai netto nell'interno, si osservano quasi sempre de' dentelli più o meno spiccati sugli orli del menisco, e ripetendosi allora più volte l'esperienza si troveranno numeri molto diversi.

305. ***Varie altezze alle quali può arrestarsi lo stesso liquido nel medesimo cannello.*** — Allorchè un cannello è stato adoperato per un'esperienza, se con un poco di accortezza si estrae dal liquido, l'altezza della colonna che rimane sospesa entro al medesimo si troverà sempre maggiore di quello che era prima: *ab* per esmpio (*fig.* 12) essendo la colonna innalzata al di sopra del livello durante la immersione del cannello, quando questo si è estratto, quella potrà essere *cd* o anche *ef*. Cotal differenza deriva dalla goccia che rimane all'estremità inferiore del cannello, la quale si conforma a menisco più o meno convesso. Ed in vero ne'cannelli a grosse pareti sulle quali la goccia molto si slarga, quest' eccesso di elevazione rendesi minore di assai; ne'cannelli al contrario a sottilissime pareti, il menisco convesso della goccia essendo quasi eguale a quello concavo della sommità della colonna, si osserva un eccesso di elevazione quasi eguale all'elevazione medesima, vale a dire *ef* è doppio di *ab*.

Simili fenomeni si hanno da' cannelli curvati a sifone, i quali sono anche più comodi per queste sperienze. Nel sifone *s* (*fig.* 13) il cui diametro sia uniforme, le sommità delle due colonne sono alla medesima altezza fino a che il liquido non giunge all'estremo del braccio corto; ma tosto che lo tocca, si può versare del liquido nel braccio lungo e dargli un di più di altezza sempre crescente. Secondo che il livello vi s' innalza, il menisco del braccio corto perde a poco a poco la sua forma, la sua concavità a mano a mano si va scemando e si avvicina alla superficie piana; e se si abbia l' avvedutezza di osservare il fenomeno con attenzione, si vedrà agevolmente che nell' istante in cui tocca questo limite, la differenza di livello *ab* è precisamente l'altezza alla quale il liquido s' innalza in un cannello dritto che abbia il diametro quanto quello del sifone. Si può intanto versare nuova quantità di liquido nel braccio lungo, ed allora la superficie piana del liquido nel braccio corto si va rendendo sempre più convessa, il livello può ascendere fino all' altezza *cd* doppia di *ab*, ed il menisco diviene un emisferio; che se nuovo liquido si versi, questa convessità si rompe, e la colonna discende più o meno secondo l'estensione sulla quale la goccia che ne risulta si può dilatare.

Possonsi questi fenomeni fare accadere in ordine inverso, ponendo da prima nella branca lunga del sifone tutta la colonna che può esser sostenuta, e facendo a poco a poco uscire il liquido dal braccio corto.

306. Quando lo spazio capillare non è cilindrico, siccome lo abbiamo finora supposto, si hanno fenomeni alquanto più intricati, i quali però possono esser ridotti a leggi molto semplici.

Cannelli concentrici. Immaginiamo un cannello che abbia per es. l' interno diametro di 10 millimetri, entro del quale si ponga un cilindro di vetro del diametro di 9 millimetri, in guisa che abbiano l' asse comune, e che resti intorno a questo secondo cilindro uno spazio annulare della grossezza di $\frac{1}{2}$ millimetro. In questo spazio accaderanno dei fenomeni capillari, e si sa dall' esperienza esser la differenza di livello quella stessa che si avrebbe in un cannello di $\frac{1}{2}$ millimetro di raggio. Cotesto risultamento essendo generale, può essere

enunciato così : in uno spazio anulare di qualunque grossezza l'elevazione e la depressione è la stessa che in un cannello il cui diametro fosse doppio di questa grossezza.

Quando l'interno cilindro è ancor esso un cannello, accadono i fenomeni separatamente in questo e nello spazio anulare, come se ciascuno fosse solo. Onde il diametro del cannello essendo appunto il doppio della grossezza dello spazio anulare, le cime delle due colonne si ridurranno allo stesso livello : se il cannello sia più sottile, la cima della sua colonna sarà più alta qualora si tratti di elevazione, e più bassa se il caso è di depressione; il contrario avviene se il cannello sia più largo. In quest' ultimo caso, se si versi del liquido fino a che il menisco anulare diventi convesso (*fig.* 14), è chiaro la depressione cambiarsi in elevazione. Questo fenomeno avea recato forte maraviglia ad un abile osservatore, il medico Petit (*Accad. des Sciences*, **1723.**)

Lamine parallele. Lo spazio compreso tra due lamine parallele è in certa guisa il limite dello spazio anulare del quale di sopra abbiamo discorso, sicchè le altezze delle colonne innalzate o depresse debbono seguire la stessa legge. E questo appunto l'esperienza dimostra; sia qualsivoglia la distanza tra le due lamine, si ha sempre lo stesso effetto che si avrebbe da un cannello cilindrico il cui diametro fosse doppio di questa distanza.

Lamine inclinate. La figura 9 rappresenta due lamine inclinate che s'incontrano in una linea verticale, esse sono unite mercè duo *cerniere c,c'*, e possono essere più o meno allontanate. Allorchè s'immergono nell'acqua, il liquido dovrà montar su a diverse altezze come in *a* ed in *b*, perciocchè le distanze tra le lamine sono disuguali, e le altezze sono, come nei cannelli, in ragione inversa delle distanze. È agevole il dimostrare per mezzo di un calcolo assai facile, che la cima della colonna forma un'iperbole equilatera i cui asintoti sono, da una parte la comune sezione delle lamine, dall'altra il livello del liquido nel quale sono le medesime tuffate.

La figura 10 rappresenta del pari due lamine tra loro inclinate; ma queste si tagliano in una linea orizzontale, ed il piano geometrico che dividerebbe l'angolo delle medesime in due parti eguali può essere orizzontale e anche più o meno inclinato all'orizzonte. Ponendo tra queste lamine una goccia d'acqua che le tocchi entrambe, si vedrà questa divenir tosto rotonda e correre verso il vertice dell'angolo ; la sua velocità si renderà maggiore o minore secondo che maggiore o minore sia l'angolo; ed in ogni caso abbandonando la lamina superiore orizzontale, ed inclinando convenientemente la lamina inferiore, si può combattere la forza attrattiva che spinge la lamina verso il vertice con la forza di gravità che la spinge per lo piano inclinato sul quale si trova.

Cannelli conici. I fenomeni de'quali si è innanzi discorso accadono nei cannelli conici con le stesse circostanze e per le cagioni medesime. La piccola colonna *mm'* (*fig.* 11) corre verso il vertice del cono o verso la base del medesimo secondo che si conforma a doppio menisco concavo o convesso, e tanto nell'uno quanto nell'altro caso si può in una certa giacitura ritenere, dando all'asse del cono per un verso o per l'altro un'opportuna inclinazione.

Si osserva similmente, che nei cannelli verticali, tanto se il liquido sia elevato quanto se sia depresso, l'altezza della colonna dipende solo dal diametro del cannello nel punto in cui essa si arresta, e al di sopra ed al di sotto di questo punto nessun effetto le dimensioni producono. Sicchè in una campana terminata da un cannello verticale sottilissimo (*fig.* 7), l'intera massa del liquido si manterrà all'altezza medesima al di sopra del livello, come se il diametro della campana fosse eguale a quella del cannello nel punto dove la colonna si ferma.

Cannelli prismatici. Nello studio dei fenomeni capillari v'ha tal bramosia di conoscere, che i fisici non han mancato di osservarli in tutte le loro varietà per mezzo di molte ingegnose ricerche. Dopo di avere esaurite tutte le combinazioni che far si possono con lamine, coni e cilindri, un abile osservatore, il Gellert, pensò di far fabbricare de'cannelli prismatici per osservare la forma de'menischi, e per misurare le corrispondenti altezze delle colonne liquide entro i medesimi (*Comm. de Petersbourg, t. 12*). Per mezzo di questi cannelli, le cui sezioni erano dei triangoli e dei rettangoli, egli pose due leggi generali molto semplici : 1° che le altezze sono in ragion reciproca delle linee *omologhe* delle basi quando queste sono *simili;* e 2° che le altezze sono le stesse quando le basi hanno superficie equivalenti. Pare tuttavia che questa seconda legge sia soggetta a qualche eccezione.

Superficie di varie forme. Tutto quello che innanzi si è detto ci fa conoscere che i solidi ed i liquidi non possono toccarsi senza che la superficie mobile del liquido soffra al contatto un cambiamento più o meno sensibile.

Le inflessioni di curvatura derivano dalla fi-

gura dei corpi. V' ha sempre elevazione del liquido quando esso bagna la superficie del corpo, e depressione al contrario. Onde avviene che un ago da cucire ben lavato con alcool è bagnato dall' acqua e va al fondo quando leggiermente si posa sulla superficie di essa, nell' atto che va a galla se è alquanto unto di grasso in modo da poter generare depressione intorno a se. Gl' insetti i quali camminano o piuttosto sdrucciolano sulla superficie delle acque, sarebbero tosto sommersi se un particolare inviluppo non impedisse che fossero da esso liquido bagnati (*fig.* 8).

307. *Attrazioni e ripulsioni che risultano dalla capillarità.* — I corpi immersi ne' liquidi o galleggianti sopra i medesimi, presentano de' fenomeni di attrazione e di ripulsione abbastanza notevoli perchè ci sembri necessario di recarne qualche esempio.

Due palle di sughero poste sull' acqua e da questa bagnate non esercitano azione veruna l' una sull' altra quando trovansi ad una distanza alquanto grande; ma tosto che si riducano ad una *distanza capillare*, cioè così piccola che le superficie liquide intorno di esse elevate si tocchino o s' incontrino, allora si ha un' attrazione assai vigorosa.

Due palle che non si bagnino, come di cera o di sughero affumicate, galleggianti sull' acqua, ovvero di ferro sul mercurio, esercitano eziandio attrazione nelle medesime congiunture.

Due palle infine, delle quali una si bagna e l' altra no, si respingono sempre giungendo alla distanza capillare (*fig.* 22).

Le lamine verticali simili fenomeni presentano.

Erasi da prima creduto, cotesti moti derivare da un' azione diretta della materia; ma agevole riesce il persuadersi che essi provengono dalla curvatura delle superficie, imperciocchè quegli stessi corpi che si repellono o si attraggono sull' acqua non addimostrano da pari distanze alcun' azione nel vôto o anche nell' aria o in qualsivoglia altro mezzo da cui siano interamente circondati.

308. *Adesione de' liquidi verso la superficie solide.* — Quando un disco solido è appoggiato sulla superficie di un liquido, non si può orizzontalmente innalzarlo senza adoperare una maggior forza. Per misurare questa forza si fa uso di una bilancia, da una parte della quale si pone il disco orizzontale e dall' altra de' contrappesi, e quando si è avuto l' equilibrio si avvicina una superficie liquida fino al punto in cui il liquido tocchi il disco orizzontale: allora a poco a poco e senza scuotere la bilancia si aggiungono de' pesi alla parte opposta, e si nota quello che è stato mestieri di aggiungere per vincere l'adesione. Questo metodo fu immaginato da Taylor, ed i risultamenti avuti dal Cigna, dal Guyton e da parecchi altri fisici han fatto nascere lunghe dispute. Noi però ci staremo contenti a riferire i risultamenti del signor Gay-Lussac.

Per distaccare un disco di vetro di 118^{mm}, 366 di diametro sono stati necessari pesi diversi secondo la varia natura dei liquidi, siccome può osservarsi nella seguente tabella:

Nomi delle sostanze	Densità	Temperatura	Pesi necessarj per distaccare un disco il cui diametro = 118^{mm},366.
			grammi.
Acqua	1,000	8°,5	59,40
Alcool	0,8196	8°	31,08
Id.	0,8595	10°	32,87
Id.	0,9415	8°	37,15
Essenza di terebintina.	0,8695	8°	34,10

Un disco dello stesso diametro di rame o di qualunque altra materia, capace di essere da' liquidi bagnato, dà precisamente gli stessi risultamenti. Per la qual cosa l' adesione siccome la capillarità non dipende dalla natura de' solidi, ma solo da quella de' fluidi. Egli è facile d' intendere di questo la cagione, perciocchè il disco innalzandosi trae seco sempre una lamina di liquido. E però lo sforzo de' pesi aggiunti non si esercita in separare le molecole

del disco da quelle del liquido, ma in vece a rompere la *coesione* che le molecole di quest' ultimo tiene insieme unite.

Le sperienze delle quali teniam discorso posson dunque valere a misurare la coesione del liquido, cioè l' attrazione che sopra se stesso esercita; e si vede che quest' attrazione, sempre sensibilissima, varia ne' diversi liquidi.

Quando la superficie del disco è di tal natura da non esser bagnata dal liquido, siccome accade per esempio tra il mercurio ed il vetro, allora il peso che si aggiunge per separarli non esprime più la coesione del liquido, ma è anche variabilissimo; ed il signor Gay-Lussac ha osservato che per separar dal mercurio un disco di vetro di 118^{mm}, 336 di diametro, era mestieri adoperare or 296 grammi ed or 158, secondo che si poneva più o meno tempo nell' aggiungere i pesi. Tali esperienze intanto rendono aperto che anche nel caso in cui il solido non sia bagnato dal liquido si manifesta più o men forte attrazione tra le molecole dell'uno e quelle dell'altro. Questa conseguenza par senza eccezione; se non che la coesione del liquido è sempre maggiore di quella del solido con esso.

309. *Diversi effetti della capillarità.* — Huyghens nel 1672 osservò (*Journal des Savans, pag.* 111) un fatto che allora sembrò tale da fare stupire. Un cannello lungo 70 pollici, di poche linee di diametro, essendo stato ben pulito con l'alcool, indi pieno di mercurio privo d'aria e poi con destrezza capovolto, tutta la colonna rimase sospesa nel cannello, e fu mestieri di parecchie scosse leggiere per far distaccare la colonna e farla discendere fino alla consueta altezza di 28 pollici entro del cannello. È questo senza dubbio un fenomeno di adesione; esso si riproduce sempre che l'interna superficie del cannello sia nettissima e siasi interamente espulsa l'aria.

Don Casbois fece verso il 1780 una osservazione importante per la fabbrica de' barometri. Avendo per molto tempo fatto bollire il mercurio in un cannello da barometro, si avvide dopo averlo capovolto, che la cima della colonna faceva un menisco quasi piano e piuttosto concavo che convesso. Onde dalle cose innanzi discorse si vede, dover questa forma di menisco alterare moltissimo l'altezza de'barometri che non siano come quello del signor Gay-Lussac fatti in guisa da portar seco la correzione degli errori che derivar potessero dalla capillarità. La cagione di un fenomeno cotanto singolare è stata per lungo tempo sconosciuta, e siam debitori al Dulong di un' osservazione che la rende interamente aperta. Il Dulong ha per via di sperienze dirette conosciuto, che prolungando l' ebollizione del mercurio esposto all' aria si forma un ossido il quale si scioglie in questo liquido; e cotesta maniera di soluzione, dal mercurio poco diversa per la sua densità, moltissimo per capillarità ne differisce, perciocchè acquista alla fine la qualità di bagnare il vetro. Laonde per far de'buoni barometri a pozzetto è mestieri evitare per quanto è possibile il contatto dell'aria nel tempo in cui il mercurio si fa bollire.

La seguente sperienza fu fatta dal P. Abat: *abc* (*fig.* 18) è un cannello ricurvo contenente il mercurio; il liquido da prima si trova allo stesso livello *ac* nelle due braccia; ma s'inclini un poco questo cannello in guisa che il mercurio monti verso *c'* e discenda verso *a'*, e quindi gentilmente riducasi nella primiera giacitura, le cime delle colonne non saranno più allo stesso livello, quella che si è innalzata rimarrà un poco più alta mostrando in pari tempo maggiore convessità, e l' altra rimarrà più bassa con convessità minore. Questo effetto della forma del menisco ci mostra quanta diligenza adoprar convenga nelle osservazioni barometriche, e quanto sia necessario in ogni volta vincere con iscosse leggiere l'attrito che trovasi tra il mercurio ed il vetro. Affinchè il liquido prenda la sua vera altezza, è d' uopo, secondo di sopra è detto, che la cima della colonna prenda la sua vera configurazione.

La capillarità non si appalesa solo al contatto dei solidi e dei liquidi, ma anche tra solidi e solidi: da essa deriva la pressione onde si tengono scambievolmente stretti due piani levigati di vetro, di marmo, ec anche tolta la pressione dell' aria. Si osserva del pari tra i solidi e i gas, perciocchè ponendo sotto il recipiente della macchina pneumatica un vaso pieno di acqua, si osservan numerose bolle generarsi sotto il liquido, coprire le pareti del vaso, e farsi sempre maggiori al diminuire della pressione. Le foglie metalliche, siccome l'oro battuto, presentano questo fenomeno in una maniera più sensibile; perciocchè le bolle d' aria che si dispongono sulla loro superficie allorchè queste foglie son sommerse, divengono sotto al recipiente come tanti areostati che lo fanno ascendere o discendere secondo il grado di pressione.

310. *Dell' endosmosi.* — I fenomeni d' endosmosi scoperti dal signor Dutrochet meritano di richiamare tutta l' attenzione de' fisici e de' fisiologi. Per farne meglio intendere il principio, descriveremo da prima lo strumento per mezzo del quale si possono rendere

sensibili, il quale da Dutrochet è chiamato *endosmometro*.

L'*endosmometro* è composto di un cannello *a* (*fig.* 23), di un riserbatojo slargato *b* e di uno scompartimento *cd*. Il cannello è di vetro, e può avere parecchi decimetri di lunghezza, e l'interno diametro di qualche millimetro; il riserbatojo può ricevere diverse forme ed esser di vetro o metallo: nel primo caso si salda al cannello, o pure questo vi si adatta come un turaccio lavorato allo smeriglio al collo di un fiasco; nel secondo caso possonsi unire insieme con apposito mastice; lo scompartimento è formato da una sostanza solida necessariamente porosa, di cui si voglion conoscere le proprietà; questa deve perfettamente chiudere l'apertura del riserbatojo, affinchè il liquido non possa uscire o entrare senza attraversarla.

Ecco intanto i fenomeni che osservansi, quando lo scompartimento per esempio sia una membrana di vescica strettamente congiunta agli orli del riserbatojo, e quando vi sia l'alcool di dentro e l'acqua di fuori. L'endosmometro essendo tenuto verticalmente nell'acqua senza che lo scompartimento tocchi il fondo del vaso, l'equilibrio *meccanico* tosto si compone tra il liquido interno, il liquido esterno e la tensione dello scompartimento. Sia *n* il livello dell'acqua del vase, *n'* il livello dell'alcool nello strumento; dopo un quarto d'ora si avvererà un considerabile cambiamento, il livello *n'* sarà elevato di parecchi millimetri, indi continuerà ad elevarsi; e se il cannello avrà solo l'altezza di 4 o 5 decimetri, si può esser certi che dopo un giorno il liquido sarà giunto fin sulla cima e traboccherà dagli orli. Ecco un fenomeno senza dubbio maraviglioso e degno di esser notato. Non si può questo attribuire alla *capillarità comune*, perciocchè essa sarebbe stata appena valevole a mantener l'alcool a qualche centimetro al di sopra del livello esterno; nè tampoco ad una diminuzione nella capacità del riserbatojo per la contrazione della vescica, imperciocchè per converso vi è stato aumento, essendosi questa distesa. Da ultimo l'acqua si è infiltrata attraverso la vescica, perciocchè si trova mista con l'alcool, e ciò ad onta della pressione che menavala in direzione contraria, spingendo anche l'alcool per ridurlo quasi fino all'altezza dell'estremo livello *n*. Vi è dunque endosmosi dell'acqua verso l'alcool per mezzo della membrana di vescica, cioè infiltrazione in direzione contraria alla pressione idrostatica. Se si facesse l'esperienza in ordine contrario, ponendo l'acqua dentro e l'alcool fuori, non è da dubitare della generazione dell'effetto inverso, e dell'abbassamento dell'interno livello dell'acqua al di sotto del libero livello dell'alcool: sarebbe buono il verificarlo, apportandovi alcune diligenze che non son necessarie nell'esperienza diretta. Si potrebbe allora dire esservi *esosmosi* nell'acqua verso l'alcool: ma sarebbe più semplice l'adoperare una sola espressione, e dire in ogni caso esservi endosmosi, purchè si abbia cura d'indicare l'ordine de'liquidi, e di non esprimer solo che vi ha endosmosi tra due liquidi, ma di uno verso l'altro. Il signor Dutrochet ha conosciuto:

1° Esservi endosmosi dell'acqua verso l'acqua gommata, l'acido acetico, l'acido nitrico, e specialmente l'acido idroclorico; ma non esservi endosmosi di un liquido con se stesso, siccome non ve n'ha dell'acqua pura verso l'acqua acidulata con acido solforico o al contrario.

2° Varie membrane vegetabili ed animali possedere in vario grado delle proprietà di cui è fornita la vescica; esserne anche dotate, sebbene in grado assai debole, le lamine di terra cotta, di ardesia calcinata, di argilla, e generalmente tutte le sostanze alluminose (V. *Ann. de Chim. et de Physiq.* t. 35 e 37, e l'opera di Dutrochet intitolata: *De l'agent immédiat du mouvement vital, etc.*).

Le forze capillari nel modo come sono state considerate finora sono sicuramente insufficienti a generare questi effetti, perciocchè esse possono innalzare un liquido al di sopra del suo livello, ma non possono giammai farlo uscire dal cannello o canale che lo contiene per accumularlo e spanderlo sopra un'ampia superficie alquanto più elevata del primitivo livello. Laonde quando s'immerge nell'acqua l'estremo inferiore di un cannello di vetro di pareti alquanto grosse, avente per esempio un centimetro di lunghezza ed un millimetro di diametro interno, il liquido sarà alzato fino alla cima, perciocchè potrebbe ascendere fino a 30 millimetri; ma giunto là, si arresta, e conserva una curvatura la cui concavità è al di sotto del piano in cui termina il cannello.

La stessa impossibilità si appalesa ancora ne'cannelli capillari irregolarissimi (*fig.* 19): *m* è un lucigno di cotone, una striscia di panno, o qualunque unione di filamenti capillari che s'immerge nell'acqua con uno dei suoi estremi *a*; il liquido tosto lo riempirà, e se venga curvato per ridurre l'altro suo estremo *b* al disotto del livello *n*, si vedrà il liquido scorrere gocciolando quasi fosse trasportato mercè un sifone strettissimo; ma come si rialza un poco questo estremo portandolo fino al livello *n*, tosto il liquido finisce di gocciolare.

Per rendere ragione dunque de'fenomeni di endosmosi, è mestieri ricorrere ad una forza diversa dalla capillarità comune, o almeno a qualche modificazione di questa, ed è ciò che ha fatto il signor Poisson, partendo da considerazioni sulle quali ci duole di non poterci intrattenere (V. la *Nuova teorica dell'azione capillare, pag.* 298).

311. *Indicazioni teoriche.* — La teoria dei fenomeni capillari appartenendo essenzialmente all'analisi matematica, noi ci dobbiamo restringere a far conoscere soltanto i principi fisici sopra i quali i geometri han fondato i loro ragionamenti. Cotesti principi in ultimo risultamento riduconsi, 1° a ritenere che in ogni liquido siavi una particolar *forza di coesione*, cioè una forza attrattiva tra le molecole vicine; 2° a riconoscere tra i solidi e liquidi una *forza di adesione*, cioè un'altra forza attrattiva che opera tra le loro diverse molecole. Ma cotali due maniere di forze attrattive non potendo essere distinte per altro mezzo tranne che per la loro rispettiva intensione da una data distanza, e per la legge secondo la quale scemano al crescere delle distanze, si comprende di leggieri, che nella mancanza di dati certi è forza scegliere in mezzo ad una moltitudine d'ipotesi egualmente probabili, o almeno egualmente possibili, e però la spiegazione cui si perviene deriva dall'ipotesi che si è scelta. Onde vedemmo comparir da prima le teoriche di Jurin, Clairaut, Segner, e più tardi quelle di Laplace, e del dottor Young. Jurin attribuisce l'elevazione dell'acqua nei cannelli capillari alla parte anulare contigua alla colonna liquida; Segner ed il dottor Young considerano i menischi che terminano le colonne elevate o depresse siccome superficie elastiche operanti mercè le loro tensioni; Clairaut, senza venire in mezzo rendendo partitamente ragione de' fenomeni, si eleva in un certo modo al di sopra di tutte le ipotesi mercè la fecondità della sua analisi, e dimostra questo notevole risultamento, cioè: che se la legge di attrazione della materia del cannello sul fluido, in altro, che nella intensione non differisca dalla legge di attrazione sopra se stesso, questo si eleverà al di sopra del livello, finchè l'intensione della prima di queste attrazioni non superi la metà della seconda. Che se ne sia giusto la metà, è facile il rendersi certo che il fluido nel cannello si disporrà in superficie orizzontale, e non s'inalzerà al di sopra del livello. Se le due intensioni sieno eguali, la superficie del fluido nel cannello sarà concava in forma di emisferio e si avrà elevazione. Se la intensione dell'attrazione del cannello sia nulla o insensibile, la superficie del liquido in questo prenderà la forma di emisferio convesso e si avrà depressione. Tra questi limiti la superficie del fluido sarà un segmento sferico, secondo che l' intensione dell'attrazione della materia del cannello sul fluido sarà maggiore o minore della metà di quella dell'attrazione del fluido sopra se stesso.

De Laplace è di credere che le forze attrattive le quali generano i fenomeni capillari decrescono con tale rapidità da divenire nulle a distanze sensibili; e quando un liquido si alza in un cannello, egli suppone che uno strato infinitamente piccolo di questo liquido si attacchi da prima alle pareti dello stesso e formi un tubo interno, dalla cui attrazione si generi l'inalzamento della colonna ed il mantenimento della stessa ad una determinata altezza la quale deriva dalla coesione e densità del liquido. Partendo egli da questi principi, rende ragione di tutti i fenomeni capillari (*Mécanique céleste, suplém. du X livre*). In fine Poisson ha introdotto nelle equazioni generali le rapide variazioni di densità che i liquidi soffrono vicino alle loro superficie libere o vicino alle pareti che li chiudono, e questa importante considerazione lo ha condotto ad una novella teorica, la quale viene ad esser libera dalle obbiezioni che il dottore Young avea elevate contro quella del de Laplace.

CAPO II.

DELLA STRUTTURA DE' CORPI.

312. La struttura de' corpi si può studiare sotto due punti di vista: 1° considerando solo le lor forme esterne per dedurne qualche legge generale sulla loro composizione, o più tosto sulle differenti maniere secondo le quali il lor volume ha dovuto prendere degli accrescimenti successivi e sempre regolari; 2° osservando le proprietà fisiche sovente diversissime che una stessa sostanza ci presenta, per concluder qualche cosa intorno alla interna disposizione delle sue molecole.

Lo studio delle forme varie e regolari che prendono i minerali forma una scienza a parte assai importante detta *cristallografia;* ma siccome senza allontanarci dal nostro proponimento ci sarebbe impossibile di dar le prime nozioni di questa scienza, noi invieremo il lettore al trattato di Haüy, al trattato più recente e più completo del signor Beudant, e alle belle memorie che il signor Mitscherlich

ha pubblicate negli Annali di Chimica dopo il 1824 (1).

Laonde ci restringeremo a porre in disamina le fisiche proprietà de' corpi, e le indicazioni che essi posson darci intorno alla disposizion molecolare; non v' ha sopra questo punto alcuna teorica, o per meglio dire alcun fatto compiutamente spiegato, per la qual cosa noi ci ridurremo ad una semplice enumerazione de'fenomeni, studiandoci di avvicinar quelli che sembrano dipender dalle stesse cagioni.

313. I fluidi generalmente considerati, sian gas sian liquidi, non presentano una così grande mobilità da escludere ogn' idea di una determinata disposizione molecolare. In una massa di acqua, per esempio, una picciolissima forza è bastante a menare una molecola dal centro alla superficie, o pure al contrario, facendole attraversar tutta la massa per un più o meno tortuoso sentiero. Un moto anche leggiero, un cambiamento quasi insensibile di temperatura, son sempre cagioni valevoli a dimostrare degli spostamenti o a sovvertire tutto l' ordine delle rispettive giaciture delle molecole. Questo fenomeno che noi possiamo in piccolo osservare ne' vasi trasparenti ove nuotano delle polveri visibili, si ripete generalmente in grande in tutte le masse fluide che la natura ci presenta. Così ne' laghi in apparenza più placidi, vi son tante cagioni sempre varie che spingon le molecole liquide, in guisa che si può essere certo che esse cambian continuamente sito; così del pari nell' atmosfera, anche nel tempo della maggior calma, si può tener per fermo che le molecole non sian punto in quiete, e che se la intera massa ci pare quieta, pure le sue parti in mille svariate guise si muovano. Cotesta perenne circolazione de' fluidi sembra indicare una perfetta omogeneità di loro struttura; nella ignoranza intanto nella quale siamo intorno agli ultimi elementi della materia, nulla possiamo affermare dello stato di aggregazione delle loro molecole: è possibile, per esempio, che una molecola d'acqua, la quale è così mobile per rispetto alle molecole che la circondano, sia un composto di molecole elementari riunite da forze permanenti e tenute in distanza l'una dell' altra in giaciture perfettamente invariabili, perciocchè l' invariabilità nella giacitura della molecole secondarie non impedirebbe punto la loro rispettiva mobilità. Ma per non farsi una falsa idea dello stato di aggregazione de' liquidi o de' gas, è mestieri non supporre implicitamente nè che i medesimi sian composti di molecole semplici o isolate, rotanti o sdrucciolanti l' una sull' altra con la maggiore facilità, nè che sian composte di molecole secondarie, di un maggiore o minor numero di atomi e fissamente riuniti e moventisi insieme senza che avvenga alcuna mutazione nelle loro rispettive distanze; perciocchè non v' ha finora nella scienza alcuna ragione che ci tolga dall' incertezza in cui ci troviamo sopra questa materia.

È più agevole fare osservazioni sopra i solidi, perciocchè essi possono per la maggior parte nascere, formarsi ed accrescersi sotto i nostri occhi, ed hanno proprietà in certo modo corrispondenti alla loro intima struttura. Di queste proprietà appunto ci faremo a discorrere, distinguendo quelle che i corpi posson ricevere dopo la loro formazione da quelle che necessariamente dalla loro origine derivano, cioè dalle circostanze nelle quali son diventati solidi.

314. *De' cambiamenti di struttura che possono avvenire ne'corpi solidi senza che perdano la loro solidità.*

Cambiamenti di forma de' cristalli. Il Mitscherlich studiando le proprietà ottiche del solfato di calce, ha conosciuto che nelle lamine cristallizzate di questa sostanza la intera struttura si cambia con le varie temperature, senza che si possa vedere alcuna sensibile modificazione esterna sopra i lati o sulle superficie levigate di questi. Lo stesso fenomeno ha parimenti osservato nelle lamine di altre sostanze cristallizzate.

Il solfato di nichel sotto forma di cristalli prismatici essendo stato nella state esposto alla luce solare in un vase chiuso, le particelle mutaron la loro giacitura nella massa solida, senza che ne fosse avvenuto lo stato fluido; e dopo alcuni giorni i cristalli, la cui forma esterna non era punto cambiata, furono rotti, e si trovarono composti di ottaedri a basi quadrate, del volume di alcune linee. (*Ann. de Chim. t.* 37, *p.* 205).

Il seleniato di zinco di figura prismatica esposto al sole sopra un foglio di carta, si trasforma anche in cristalli ottaedri a basi quadrate.

I cristalli di solfato di magnesia e di solfato di zinco, riscaldati gradatamente nell' alcool fino al punto dell' ebollizione di questo liquido, perdono a poco a poco la loro trasparenza; e quando vengono spezzati, si trovan com-

(1) Si può anche vedere il primo volume della fisica che ha pubblicata il professore Avogadro, e l' Opera del Pianciani altrove citata.

posti di un grandissimo numero di nuovi piccolissimi cristalli di figura al tutto diversa da quella che aveano innanzi.

Questi notevoli fatti ben fermati da un abile osservatore, dimostrano fino all' evidenza che anche nei solidi le molecole costituenti non hanno invariabili le rispettive giaciture, ma che possono anche cambiar luogo, disporsi e passar successivamente per istati di aggregazione totalmente diversi.

Del temperare e ricuocere. L'aggregazione delle molecole non si appalesa sempre mercè le faccette cristalline: nelle proprietà, per esempio, che derivano dalla tempera, per quanto spiccate possano essere, è quasi impossibile il discernere le diverse strutture che in uno stesso corpo corrispondono a' diversi gradi di tempera; ma siccome niente altro si vede in esso capace di variare, tranne la disposizione delle sue molecole, si è avuto ragione di conchiudere, quivi risedere la cagione di qualità tanto notevoli e diverse che in esso osserviamo e delle quali procuriamo di acquistare una idea.

Scarsissimo è il numero de' corpi capaci di ricevere la tempera, e l'acciajo è nel numero di questi, tanto se siasi avuto *naturalmente*, quanto se siasi avuto per *cementazione* o per *fusione*. Per temperare l'acciajo basterà ridurlo ad un'alta temperatura, e poscia prontamente raffreddarlo. I diversi gradi di tempera derivano dal diverso grado di temperatura e dalla prontezza del raffreddamento.

Partendo dal più alto grado d'incandescenza, il raffreddamento prodotto nel mercurio, nel piombo, o in qualche acido, dà la tempera *più dura*; il raffreddamento nell'acqua genera una tempera *men dura*; e ne' corpi untuosi, come l'olio o il sego, genera una tempera *alquanto più dolce*.

Partendo dal *rosso-rosa*, dal *rosso-vivo*, dal *rosso ciliega*, o dal *rosso-bruno*, si hanno tempere ognor descrenti, vale a dire sempre meno forti, e tanto meno per quanto il raffreddamento è men pronto; laonde per ognuna delle anzidette temperature, l'olio sembra dare una tempera più dolce dell'acqua, e questa più del mercurio.

L'acciajo che ha ricevuto la tempera più forte diviene più fragile del vetro: accade sovente che i conj ordinati a batter le monete e le medaglie, si spezzino naturalmente senza ricevere alcun urto o pressione, anche ne' luoghi ove la temperatura soffre poche variazioni.

Gli strumenti che debbono avere una tempera assai forte, convien che la ricevano solo in una piccola parte del loro volume; e si pone ben mente di non temperarli tutti: i bolini, per esempio, son temperati solo in una piccola parte di lor lunghezza, e per tal mezzo essi hanno la punta durissima e sono nel tempo stesso molto solidi e resistenti.

Gli artefici che lavorano l'acciajo, sanno dare ad ogni strumento quel grado di tempera che gli compete, secondo l'uso cui è ordinato; ma s'intende che ben difficile sarebbe di ravvisar questo punto con precisione, se non si avesse per guida quella tinta di rosso cui essendo pervenuto l'acciajo conviene immergerlo nel mercurio o nell'acqua per fargli prendere tutte le qualità che si ha in mente di dargli; rare volte però si segue questo metodo. Si ha un altro mezzo per far variare la temperatura con certezza, e direi quasi a piacimento: questo consiste nel *ricuocere* l'acciajo; un tal metodo è fondato sulla proprietà che ha l'acciajo fortemente temperato di perdere a poco a poco la tempera secondo il grado di calorico cui si assoggetta. Si comincia dunque dal dare all'acciajo una tempera troppo forte, e poi si fa gradatamente *rinvenire*. La sola difficoltà sta nell'avere una serie di segni, mercè i quali si possan riconoscere i varî gradi di temperatura pei quali si passa. Or questi segni si presentano da se stessi nell'acciajo: quando questo è stato temperato, e si pone per farlo rinvenire sopra i carboni accesi, o semplicemente sulla polvere di carbone, la superficie prende varî colori molto distinti, i quali corrispondono alle varie temperature. Questi colori sono i seguenti: giallo color di paglia, rosso di porpora, turchino violetto, turchino, turchino chiaro, color d'acqua. Pare che, incominciando da una tempera dura, convenga arrestarsi nel ricuocere l'acciajo al giallo color di paglia per aver quella de' temperini e de' rasoi, al rosso di porpora per aver quella de' coltelli e delle forbici, al turchino per aver quella delle molle da oriuolo, e solo alla temperatura del rosso nascente per le molle da vettura. Accade sovente che i pezzi d'acciajo ben raddrizzati si storcano colla tempera, e spesso il ricuocimento cui debbono essere assoggettati non è sufficiente per poterli raddrizzare col martello; questo per esempio accade negli aghi da bussola, i quali non debbono esser ricotti fino al turchino. In questo caso si riscaldano i pezzi in cannello o cilindro di ferro affinchè prendano una temperatura uniforme in tutta la loro estensione, e quindi si lascian cadere verticalmente nell'acqua da un'altezza alquanto considerabile, affinchè tutt' i punti della superficie sian quasi nello stesso tempo colpiti dal freddo.

Può il vetro essere temperato come l'acciajo, e se col ricuocerlo non si può dargli la pieghevolezza e l'elasticità delle molle, si può almeno scemar molto la sua fragilità. Tutti sanno come son fatte le *lagrime batave*, e come esse riduransi in polvere rompendone solo la punta. Poichè esse si formano versando il vetro fuso nell'acqua fredda, e poichè esse scoppiano riducendosi in mille frammenti quando s'interrompe in qualche punto la loro continuità, egli è chiaro che esse sono del tutto simili all'acciajo fortemente temperato; onde quando una lagrima batava si ricuoce fino ad una temperatura vicina al rosso, essa riacquista le proprietà del vetro comune, e si rompe solo nel punto in cui è colpita. Ecco perchè nelle vetriere si prende molta cura nel ricuocere i pezzi, che mentre sonosi fabbricati, han dovuto soffrire un raffreddamento alquanto sollecito.

Trattando della polarizzazione della luce, conosceremo un mezzo assai piacevole per osservare la disposizione molecolare de' corpi diafani, e vedremo per esempio che il vetro è quasi sempre temperato in molti punti della sua massa, purchè non sia stato con molta diligenza raffreddato.

V'ha una sostanza che presenta de' fenomeni di tempera tanto più singolari, perchè sono perfettamente opposti a quelli che offre l'acciajo; questa sostanza è la lega degl'istrumenti cinesi conosciuti sotto il nome di *tamtam;* essa è composta di quattro parti di rame ed una di stagno. Quando questa lega è lentamente raffreddata, è fragile come il vetro; quando per converso è raffreddata prontamente, essa divien malleabile, può esser lavorata col martello, se ne posson fare istrumenti, i quali, mercè l'elasticità di cui essa gode, possono eseguire moltiplici vibrazioni che generano dei suoni tanto gravi e pieni. Mercè di questa piacevole osservazione, noi possiamo ora eseguire in Francia de' *tam-tam*, non così buoni come quelli de' Cinesi, ma sufficientemente sonori da star bene nelle nostre orchestre.

Si suole render ragione de' fenomeni della tempera del vetro e dell'acciajo col dire che le molecole superficiali colpite dal freddo prontamente si consolidano, formando una specie di volta che circonda tutte le parti del nocciuolo interno, nell'atto che questo tiensi ancor molto dilatato dal calorico: se questo nocciuolo liberamente si raffreddasse, scemerebbe di volume; ma costretto, come esso è, ad occupare raffreddandosi lo stesso spazio che occupava quando era caldissimo, le sue molecole soffrono grande tensione, e tendon continuamente a romper la volta di fuori in dentro, e la infrangon di fatti con una esplosione quando qualche esterna cagione viene ad agevolare il loro sforzo. Con questa specie di paragone si rende ragione tutto al più della facilità con la quale il vetro temperato si spezza o si riduce in polvere, ma non si dà ragione nè dalla durezza che prende l'acciajo, nè dall'elasticità nè dalle altre notevoli proprietà che corrispondono a' diversi gradi di tempera, e molto meno si spiega il fenomeno del *tam-tam.* Si può anche dire che gli altri corpi non godono della proprietà di esser temperati, ma ciò non altro significa se non che hanno la proprietà di diventare fragili raffreddandosi, perciocchè è assai probabile che tutt'i corpi prontamente raffreddati differiscano da'corpi ricotti per alcune fisiche proprietà, siccome differiscono per la loro densità o per l'andamento di loro dilatazione.

Dell'induramento del metallo col batterlo a freddo. — Quando un metallo può essere battuto a freddo senza spezzarsi e senza fendersi, suole rendersi più duro, più elastico, più sonoro, ed allora dicesi che è stato battuto a freddo (*écroui*). L'ottone, l'argento, il rame, lo stagno, ed anche il piombo, presentano grandi differenze nelle loro proprietà quando sono stati semplicemente fusi e raffreddati, o quando sono stati convenientemente battuti a freddo. Quel che accade sotto i colpi del martello, si avvera anche più o meno per l'azione della lima, del bolino, e per le pressioni che avvengono nei buchi delle filiere o tra i cilindri de' laminatoi. Quando un metallo ha sofferto soverchiamente questa operazione per l'uno o per l'altro di tali mezzi meccanici, esso divien fragile in guisa che non si può più curvarlo, nè continuare sovr'esso l'operazione medesima senza che si rompa o si screpoli. Allora si fa rinvenire come l'acciajo, cui fu data una tempera troppo forte, ed allora si può senza rischio riportarlo sotto i colpi del martello, o tirarlo nuovamente alla filiera. Convien che i fisici pongan mente a tutte queste proprietà, perciocchè possono esse indurre delle varietà sopra molti fenomeni, come sulla dilatazione, sulla elasticità, sulla conducibilità pel calorico o per l'elettrico, e particolarmente sopra le irregolarità che talvolta si osservano negl'istrumenti di somma precisione; imperciocchè se un cerchio, per esempio, non abbia sofferto in tutte le sue parti egualmente la descritta mutazione, facilmente cambierà di figura e si torcerà coll'andare del tempo.

315. *Delle proprietà che acquistano i corpi*

nel consolidarsi dopo di essere stati compiutamente o incompiutamente fusi.

Cristallizzazione dell'acqua. Quasi tutti gli osservatori hanno avuto talento di spiare la congelazione dell'acqua e di notare l'accrescimento de'sottili aghi di diaccio che si generano tosto sulla superficie o sopra i solidi che tocca. Da un momento all'altro questi aghi si formano, e col progresso del consolidamento in mille guise diramansi, sebben raramente si dispongano in forme cristalline regolari siccome accade alla brina o alla neve (V. *la Meteorologia*): pure il loro aspetto è sufficiente a dimostrare la maniera onde i corpi solidi si formano, e come in un dato volume di ghiaccio si possa considerare una moltitudine di superficie curve, che separano ciò che è stato solido in un momento da ciò che è stato solido nel momento appresso. Il che per altro avremo occasione di veder meglio per gli altri esempi.

Cristallizzazione dello zolfo. Un cilindro di zolfo sembra quasi del tutto omogeneo dalla parte esterna, ma spezzandolo si veggono intorno al suo asse infiniti picciolissimi aghi trasparenti, che s'incrociano sotto tutti gli angoli. Cotesta regolare cristallizzazione è avvenuta al di dentro, perciocchè ivi il raffreddamento è stato più lungo. E per fermo la grandezza de'cristalli deriva dalla massa che era in fusione e dalla prontezza del suo raffreddamento. Il sig. Mitscherlich ha avuto de'cristalli di mezzo pollice di grossezza, di somma regolarità, facendo fondere insieme 50 libbre di zolfo. Il bagno era lentamente raffreddato per quattro o cinque ore, e se ne perforava la grossa crosta, ch'erasi formata al di sopra, per *decantare* il liquido interno. Formati una volta questi cristalli, non si sarebbero certamente scomposti durante il consolidamento del liquido rimanente; essi sarebbonsi solamente inviluppati in nuova crosta solida più o men regolare, e allorchè dopo un compiuto consolidamento senza *decantazione* si sarebbe la massa spezzata, la frattura presentando alcune facce cristalline non avrebbe potuto dare una giusta idea dello stato di aggregazione delle molecole.

Cristallizzazione del bismuto. Il bismuto purissimo, tra tutti i metalli, si cristallizza con maggiore facilità. Si fa fondere in un crogiuolo, si versa in un vase di terra alquanto riscaldato da prima, e si aspetta finchè la crosta superficiale siasi renduta convenientemente solida; allora si decanta, cioè si prende il vase, s'inclina come se si volesse versar quel che contiene; il liquido interno scorre dopo aver rotta la crosta, mercè il suo peso, e la calotta solida che resta unita al vase presenta dei cristalli coloriti ad iride, aventi parecchie linee di superficie, e formanti con la loro unione mille riflessi e mille singolari accidenti.

Questa piacevole esperienza insiem con la precedente sono molto acconce a farci comprendere la interna struttura de' corpi; perciocchè trattenendo in tal guisa la loro generazione, e separando in un dato momento la parte solida da ciò che ancor liquido rimane, si può acquistare un'idea de'radunamenti molecolari che forman le masse. E siccome la grandezza e la disposizione de' cristalli che si hanno con questo metodo deriva dalla prontezza con la quale la massa si raffredda, chiaro apparisce che tutta la struttura di un corpo solido qualunque dipende dalle circostanze nelle quali si è renduto solido.

Consolidamento sotto diverse pressioni. La pressione sotto la quale trovasi il liquido quando passa allo stato solido, esercita generalmente un potere notevole sullo stato di aggregazione che ne risulta. Laonde, quando il metallo di una campana si gitta in forma molto grande, le parti di sotto non si conformano nella loro struttura similmente a quelle di sopra; accade lo stesso pei cannoni, ed è risaputo non esser punto indifferente il gettare in forme ortzzontali o verticali, nè il perforare dalla parte di sopra o dalla parte di sotto per disporvi l'anima del cannone.

Del ferro fuso e dell' acciajo fuso. V' ha dei corpi i quali sembrano mutar natura per replicate fusioni, quali sono l' ottone, il ferro fuso e l' acciajo; ma si può generalmente avvertire che tali cambiamenti accadono solo ne'corpi composti, i quali posson soffrire qualche alterazione nelle proporzioni dei loro principj costituenti, tanto per l' alta temperatura cui si espongono, quanto per l'azione dei corpi estranei co' quali sono in contatto. E però quando il ferro fuso dolce diventa acre, per una seconda o terza fusione, è probabile che ciò non solo dalle diverse maniere di aggregazione derivi, ma anche dalle variabili proporzioni di carbone che l'analisi chimica non può assegnare. Accade certamente lo stesso nella fusione dell' acciajo, perciocchè piccole differenze nelle proporzioni del carbone potrebbero generare ne' cristalli de' cambiamenti sensibilissimi all' occhio.

Del ferro. Sembra che il più puro ferro del commercio contenga anche un poco di carbone; e poichè in questo stato si trova grandissima difficoltà nel ridurlo in fusione, si può giustamente inferire che il ferro purissimo assai difficilmente si fonderebbe, specialmente

per cagione della necessità di evitare il contatto di tutte le materie contenenti del carbone. Non è dunque per una compiuta fusione che si ottiene il ferro nelle arti, ma solo per una fusione pastosa, che dà agio alle molecole di potersi aggregare, ed anche di disporsi in sistemi cristallini che facilmente ravvisar si possono con la rottura. Questo metallo ci presenta una novella prova che anche allo stato solido e senza compiuta fusione le molecole possono cambiar luogo ed aggregarsi per loro scambievole affinità in guisa da generare più o meno voluminosi cristalli. I mazzi che battono il ferro, i cilindri che lo comprimono per togliere le scorie liquide, possono certamente fargli acquistare della tenacità; ma coteste forze meccaniche sono poco atte a generare quelle regolari cristallizzazioni che sovente vi si osservano.

Del platino. Il platino in piccole masse può facilmente esser fuso per mezzo della pila, o per mezzo della lucerna a gas idrogeno; ma esso resiste talmente, che co' nostri mezzi più efficaci appena se ne posson fondere delle particelle. Intanto si ha ora la maniera di averlo in grandi masse; si passa per la filiera, si riduce in lamine, si lavora sotto il martello per farne fili, cannelli, crogiuoli, storte, sifoni, caldaje, e parecchi altri strumenti sommamente utili alla chimica ed alle arti. Tutte queste forme che esso prende annunziano tra le sue molecole un' affinità grandissima congiunta ad una sufficiente mobilità da potersi disporre così svariatamente senza che la massa sia liquefatta. Per far meglio intendere queste verità, basterà ricordare in poche parole la seguela delle operazioni che si fanno sul platino per farlo passare da minerale allo stato di massa solida.

Da prima il minerale si assoggetta ad una serie di dissoluzioni che han per obbietto di separare il platino dai molti metalli cui trovasi collegato, e si giunge finalmente ad una soluzione la quale contiene solo idroclorato di platino e di ammoniaca.

Questo sale doppio si precipita per l'evaporazione in polvere di color giallo aranciato assai vivo.

Si espone ad un' alta temperatura per la quale tutto svapora fuorchè il platino, il quale rimane in forma di una massa spugnosa più fragile della cenere agglomerata dal fuoco. Con questa polvere priva di ogni consistenza ed infusibile si deve fare una massa solida ed omogenea.

Non è certamente mestieri di più minuti particolari intorno ai vari modi di aggregazione che possono ricevere i corpi esposti all'azione del fuoco; l'arte di fabbricare i vetri, le porcellane e le stoviglie ce ne presenteranno svariatissimi esempi.

316. *Delle proprietà che acquistano i corpi precipitandosi dalle soluzioni che li contengono.*—Vi ha, siccome di sopra è detto, un gran numero di corpi solidi, i quali si possono avere mercè la fusione, e generalmente mercè l'azion del fuoco; ma molti ve n' ha che possono essere generati per *via umida*, cioè per mezzo dei liquidi che li tengono in soluzione e li depongono per evaporazione. In tal guisa, per esempio, si forma il sale nelle saline per mezzo dell'evaporazione dell'acqua del mare, e lo zucchero solido si estrae dal succo delle canne, delle barbabietole, per mezzo di una evaporazione convenientemente regolata. I corpi che si hanno per questo mezzo possono prendere strutture anche più distinte e più varie nella loro apparenza che non quelli che si generano per mezzo del fuoco. Quando l' evaporazione lentamente si compie senz' agitazioni e senza sensibili variazioni di temperatura, i corpi solidi che si depositano forman dei bei cristalli perfettamente regolari, e per lo più trasparenti, e terminati da larghe facce piane e forbite; ma quando l'evaporazione è troppo rapida, i corpi solidi precipitansi in polvere opaca, in cui non si ravvisa alcun segno di regolarità o di aggregazione. In mezzo a questi estremi si può generalmente dire con verità che i corpi solidi precipitandosi posson prendere tutte le varietà di struttura che immaginar si possono dallo stato polveroso il più informe sino al più perfetto stato cristallino. Così la pietra di cui si fa comunemente uso nelle fabbriche (*carbonato di calce*), ed il bel marmo bianco di Carrara o di Paro, sono la stessa sostanza, che ha ricevuto in origine diversi stati di aggregazione; lo stesso marmo ci offre ancora una *confusa cristallizzazione*, perciocchè è privo di trasparenza, e vi sono mille gradi intermedj tra la struttura di esso e quella dei limpidi cristalli di *spato d'Islanda*. In simil guisa *il carbone*, *il carbon di terra*, *il lignite*, *l' antracite* ed *il diamante* sono una stessa sostanza diversamente modificata. Pur tuttavolta questi due esempi differiscono in ciò che, noi sappiamo artificialmente fare i cristalli di carbonato di calce, nell'atto che i tentativi fatti per avere il diamante non hanno avuto finora felice riuscita.

Le sostanze che fan depositi cristallini nelle soluzioni acquose si combinano d' ordinario con una certa quantità di acqua nello stato solido, la quale *acqua di cristallizzazione* venne

denominata.

Il signor Haidinger notò, ed il signor Mitscherlich ha per via di molti fatti rifermata la seguente verità importante per la cristallografia, cioè che una stessa sostanza cristallizzandosi a diverse temperature può prendere diverse quantità di acqua di cristallizzazione, ed in pari tempo configurazioni diverse.

Così il solfato di soda, che, come è risaputo, è più solubile a 33° che ad ogni altra temperatura, si riduce in cristalli sotto questa senz'acqua di cristallizzazione, nell'atto che alla temperatura ordinaria riceve con l'acqua forme diverse.

Il seleniato di zinco può prendere tre diverse proporzioni di acqua, ed altrettante configurazioni, secondochè si faccia cristallizzare in una soluzione calda o convenientemente fredda.

Il signor Ebelmen, prendendo l'acido borico fuso come dissolvente dell'allumina, della magnesia, della glucina, e degli ossidi metallici, è giunto a formare de' piccoli cristalli, della famiglia degli spinelli e di altre pietre fine, alla temperatura dei forni di porcellana, sufficiente ad evaporizzare l'acido borico(*Comptes rendus*, 16 Agosto 1847).

CAPO III.

DELL' ELASTICITÀ.

317. Tutt'i corpi sono elastici, cioè possono, senza rompersi o perdere lo stato di aggregazione, soffrire per mezzo di forze meccaniche alcuni cambiamenti nella loro struttura, nella loro forma, o nel loro volume, e riprendere perfettamente il loro stato primitivo, tostochè le anzidette potenze meccaniche finiscono di operare sopra i medesimi. Abbiamo già altrove fatto vedere come i volumi de' gas derivano dalle pressioni che soffrono, e come a temperature eguali riduconsi sempre allo stesso volume sotto la stessa pressione; è questa una maniera di elasticità, che noi diremo di *compressione*; essa è la sola che compete ai gas e forse anche di cui godono eziandio i liquidi. I solidi l'hanno del pari che i liquidi ed i fluidi aeriformi, ma quelli possono essere piegati o allungati e riprendere le loro dimensioni o la loro forma, ed in questo consiste l'elasticità di *tensione*; da ultimo posson questi corpi essere più o meno torti senza mancar di ritornare alla loro disposizione primiera, o forse meglio di riprendere la primitiva loro struttura, il che forma l'*elasticità di torsione*. Ci faremo sussecutivamente a studiare queste diverse proprietà.

318. *Della compressibilità de' liquidi e del calore ne deriva.*—L'apparecchio col quale il signor Oersted osserva e misura la compressibilità de' liquidi è dinotato dalla figura 24; il medesimo è essenzialmente composto di un riserbatojo di compressione *a* di vetro grosso, e di un riserbatojo a cannello capillare *b* che chiamasi *piezometro*, che vedesi rappresentato più in grande nella figura 25: il cannello, come si vede, termina in un piccolo imbuto. È importante, perchè lo strumento sia giusto, di ben graduare esso cannello in parti eguali, che siano una conosciuta frazione della intera capacità del riserbatojo piezometrico; e però si determina il peso del mercurio contenuto nel cilindro, che sarà per esempio di 1000 grammi, ed il peso del mercurio contenuto in una data lunghezza del cannello, che sarà per esempio di 2 decigrammi per una lunghezza di 100 millimetri. Allora è chiaro che la capacità corrispondente ad un millimetro del cannello (supponendolo ben calibrato) sarà 0,000002 di quella del cilindro; e siccome agevolmente si può leggere il mezzo millimetro tanto sopra un cannello graduato col diamante, quanto sopra una scala cui questo è unito, così si potrà osservare il millionesimo del volume primitivo.

Supponghiamo ora che si voglia adoperare il piezometro per determinare la compressibilità dell'acqua; si riempirà esso di questo liquido ben purgato d'aria; e per leggiere variazioni di calorico si farà entrare nel cannello una piccola colonna d'aria, di mercurio, o di carburo di solfo che separi e termini il volume d'acqua sul quale si vuole operare. Disposto così il piezometro, si adatta alla sua scala un piccol manometro ad aria *c*, cioè un cannello cilindrico di 10 in 15 millimetri di diametro, e di 15 in 20 centrimetri di lunghezza, chiuso dalla parte di sopra ed aperto dalla parte inferiore; si porta nel riserbatojo di compressione già ripieno d'acqua, badando che non soffra alcun sensibile cambiamento di temperatura, perciocchè basterebbe forse un mezzo grado di elevazione a menar l'indice nell'imbuto, ed uno o al più due gradi di abbassamento per ridurlo nel cilindro. Dopo convien comprimere la grande massa di acqua nel riserbatojo, affinchè essa trasmetta la sua pressione al liquido contenuto nel piezometro mercè l'apertura dell'imbuto, e però si pone a vite la tromba sulla forte ghiera di metallo *e* da cui è terminato il riserbatojo di cristallo, e fortemente si stringe con la chiave *f*, affinchè si uniscan bene le commessure. In *g* vedesi un cannello per lo quale si versa l'acqua

fino allo stantuffo h, e dopo si chiude; l' aria frattanto esce per l'apertura laterale i, la quale deve essere a sua posta chiusa dallo stantuffo tostochè questo comincia a discendere. Fatto finalmente tutto questo, basterà voltare la traversa k per far discendere la vite l nella sua madrevite, e spingere innanzi lo stantuffo: osservansi allora nello stesso tempo il manometro per aver la misura della pressione, e l' indice del piezometro per conoscere la corrispondente diminuzion di volume. Questo risultamento diretto deve non pertanto ricevere una correzione perchè sia giusto: il signor Poisson ha dimostrato (*Mém. de l' Accad. des Sciences*, ed *Ann. de Phys. et de Chim. 1827 e 1828*) che la capacità del piezometro, durante la compressione, decresce e diventa

$$c\left(1-\frac{3\delta}{2}\right)$$

sotto la pressione p, essendo δ la contrazione che soffrirebbe nella sua lunghezza un' asta della stessa sostanza del piezometro, e premuta solo dai suoi estremi dalla stessa pressione p riferita all' unità di superficie.

Se invece di premere quest' asta si tirasse secondo la lunghezza con egual forza, si tien per principio che essa soffrirebbe lo stesso allungamento δ; onde, secondo le sperienze dei sig. Colladon e Sturm, un' asta di vetro allungandosi di 11 diecimillionesimi, quando è tirata con forza uguale ad un' atmosfera, cioè di un chil. per centimetro quadrato, ne segue che, c essendo la capacità di un piezometro di vetro, sotto la pressione ordinaria, questa capacità diventerà $c\,(1-0{,}0000165n)$ sotto un numero n di atmosfere di più. Ritenendo adunque l' allungamento del vetro osservato dai sig. Colladon e Sturm, comechè possa rimanere alcun dubbio sul suo vero valore, e correggendo con questi dati le osservazioni dirette, si hanno i risultamenti registrati nella seguente tabella.

NOMI delle sostanze	COMPRESSIBILITA' per un' atmosfera estimata in millionesimi del primitivo vol. COLLADON E STURM.	OERSTED
Mercurio	3,38	2,65
Acido solforico	30,35	»
Acido nitrico	30,55	»
Solfuro di carbonio	»	31,65
Ammoniaca	33,05	»
Acido acetico	40,55	»
Acqua non priva d'aria	47,85	»
Acqua priva d'aria	49,65	46,65
Etere nitrico	69,8	»
Essenza di terebentina	71	»
Etere acetico	7[illegible]	»
Etere idroclorico	[illegible] la 1ª atm.	»
Id.	[illegible] p. la 9ª atm.	»
Alcool	[illegible]5 p. la 1ª atm.	21,65
Id.	[illegible],85 p. la 9ª atm.	»
Id.	87,35 p. la 24ª atm.	»
Etere solforico ad 1°	131,35 p. la 1ª atm.	61,65
Id.	120,45 p. la 24ª atm.	»
Id. ad 11°.	148,35 p. la 1ª atm.	»
Id.	139,35 p. la 24ª atm.	»

Si osserva in generale che i numeri de' signori Colladon e Sturm sono alquanto più grandi di quelli del signor Oersted. Piccola è la differenza riguardo al mercurio ed all' acqua, ma è assai grande per l'etere solforico, ed anche di più per l' accol. Questi due ultimi liquidi e l' etere idroclorico ci porgono l' opportunità di fare un' importante osservazione, cioè che la compressibilità diminuisce al crescere della pressione: si osserva finalmente nell' etere solforico un sensibilissimo aumento di compressibilità dalla temperatura 0° fino ad 11°.

Il calorico che si svolge dalla compressione de' liquidi è tanto debole che non si è potuto osservare con certezza.

Il signor Regnault, ultimamente, si è occupato della compressibilità de'solidi e de'liquidi; e comunque il suo lavoro non siasi ancora pubblicato, ha voluto ciò non ostante comunicarmelo, ond'è che mi affretto a dare qui la descrizione del suo apparecchio rappresentato dalla fig. 15; non ho creduto aggiungervi due pezzi che fan parte indispensabile dell'apparecchio, cioè un riserbatojo d'un centinajo di litri, nel quale comprimesi l'aria ad 8 o a 10 atmosfere, e la tromba, mercè la quale questa compressione si effettua, potendosene facilmente formare un' idea della loro disposizione; il che non è lo stesso di quella dell' apparecchio, il quale però ha il merito d' essere semplicissimo, ed assai ingegnosamente combinato. Il piezometro *ab* è pieno di liquido sino ad un punto *c*, verso il mezzo della parte visibile del suo gambo *bc*; all' estremità superiore avvi una guernitura munita di due robinetti *p* e *d*, il primo de' quali serve a produrre la pressione ed il secondo serve a produrre la depressione, cioè a mettere il liquido in comunicazione con l' atmosfera. Il riserbatojo *r* nel quale va immerso il piezometro è quasi interamente pieno d'acqua; e vi si può produrre egualmente la pressione e la depressione, mercè i due robinetti *p'*, e *d'*; esso è di rame e di sufficiente grossezza; alla sua parte superiore tiene un morso sul quale a' inchiavarda il coverchio, nel cui centro è adattato un cannello a traverso del quale passa il gambo del piezometro, il qual gambo è ritenuto solidamente nel cannello con mastice di resina. In cotal modo il riserbatojo *r* ed il piezometro formano un corpo solo, il quale semplicemente si posa sugli orli dell' apertura circolare praticata sulla tavola *k*, che ricopre il vase *v*, destinato ad impedire le variazioni di temperatura nel piezometro, mercè la massa d'acqua in esso contenuta.

Ecco ora il modo di servirsi dell'apparecchio: il signor Regnault fa, col catetometro, cinque operazioni della cima *c* della colonna piezometrica.

1°. Aperti i due robinetti *d* e *d'*, tutto l'apparecchio trovasi sotto la pressione atmosferica.

2°. Chiudendo *d* ed aprendo *p*, la pressione dell'aria, compressa nel gran riserbatojo, giunge per via del tubo *t* ed opera sul liquido del piezometro, mentre che il riserbatojo *r*, che inviluppa quest' ultimo, rimane tuttavia sotto la pressione atmosferica.

3°. Chiudendo *d'* e *d*, e tenendo aperti *p'* e *p*, vi ha pressione eguale sul liquido e sull'inviluppo; ossia ha luogo pressione interna e pressione esterna.

4°. Chiudendo *p* ed aprendo *d*, ha luogo soltanto pressione esterna.

5°. Finalmente chiudendo *p'* ed aprendo *d'* ricadono sotto la pressione atmosferica tanto il liquido che l'inviluppo.

Si comprende che durante questa serie di operazioni, la quale non ne costituisce che una soltanto, la pressione rimane costante, poichè la quantità d'aria che si perde è impercettibile. Il manometro indicante la pressione del gran riserbatojo d'aria è rappresentato nella fig. 16; il tubo manometrico ha un' altezza di due metri, e si compone di due tubi di diverso diametro, così come lo mostra la figura, e come lo si vede raffigurato in grande nella fig. 17, la quale rappresenta la saldatura d'unione del tubo largo con quello stretto.

D'altronde, se qualche diminuzione sensibile s' appalesasse, si ristabilira ben tosto la pressione voluta, mercè la tromba di compressione, che trovasi sempre all'ordine.

Ecco qui alcuni de'risultamenti ottenuti dal signor Regnault, per mezzo del descritto apparecchio.

COMPRESSIBILITA' PER UN'ATMOSFERA, ESPRESSA IN MILLIMETRI DEL VOLUME PRIMITIVO.

Acqua	in un piezometro di rame rosso	47,709
	» » » d'ottone	48.288
	» » » di vetro	46,677
Mercurio, in un piezometro di vetro		3,517
Compressibilità cubica del rame rosso		1,319
» » dell'ottone		1,440
» » del vetro		2,368

Questi numeri sonosi ottenuti mercè formole che qui ommettiamo; gli sperimenti venivan fatti sotto pressioni di 8 a 10 atmosfere.

319. *Dell'elasticità di tensione e di flessione; e del coefficiente di elasticità e della tenacità.* — I corpi solidi lavorati in fili o verghe soffron diversi cambiamenti, allorchè son tirati secondo il loro asse da forze sempre crescenti: 1° la loro lunghezza si fa maggiore scemando il diametro; 2° riprendono le primiere dimensioni quando le forze restano dal tirarli, purchè non abbiano oltrepassato un certo termine; 3° oltre di questo termine essi rimangono allungati per un verso e ristretti per l'altro; 4° se son tirati da forze maggiori si rompono, talvolta rotondamente; ed altre volte lentamente assottigliandosi.

Aumento di volume per lo stiramento. È naturale di supporre che durante lo stiramento il volume di un corpo cresca presso a poco sic come la compressione diminuisce. E questo infatti ha osservato il sig. Cagniard de la Tour stirando un filo di rame in un lungo cannello pieno di acqua appositamente aggiustato; ed il sig. Poisson ha dimostrato, che esprimendo con a l' allungamento che riceve un cilindro la cui lunghezza si prenda per unità, il restringimento considerato in direzione perpendicolare all'asse sia solo $\frac{a}{4}$; in guisa che chiamando v il volume primitivo, il volume dello stesso durante lo stiramento sarà

$$v\left(1+\frac{a}{2}\right).$$

Coefficiente d'elasticità. In diverse maniere si può dimostrare che *i fili e le verghe hanno una elasticità perfetta fra certi termini, e che acquistano allungamenti proporzionali alle forze onde sono stirati.* Trattandosi di fili molto flessibili si può fare uso del seguente apparecchio: una verga di ferro f (*fig.* 26.) è disposta orizzontalmente ad una convenevole altezza; verso i suoi estremi ha dei sostegni verticali forniti di pinzette p e p'; il filo che si vuole sottoporre alla prova è fissato in una delle pinzette e teso orizzontalmente da un peso conoscinto. Quando si è teso, si stringe la seconda pinzetta per avere giustamente la lunghezza sulla quale si opera. Accanto l'apparecchio si dispone il catetometro altrove descritto (*Vol. 1*), e si osserva l'altezza del mezzo del filo; poi si carica successivamente di diversi pesi per mezzo di un guscio fornito di un uncinetto. Si osserva di nuovo la giacitura del mezzo del filo, e si ha così con tutta precisione l'altezza della freccia mm' per poterne dedurre $pm'-pm$, ossia la metà dell'allungamento; la tensione poi che prova si ricava con le solite regole della meccanica da' pesi onde si è il guscio caricato.

Quando per contrario si tratta di rendere aperte queste leggi per aste forti e rigide, è mestieri adoperare l' apparecchio significato dalla figura 27; le aste allora sono verticali, fermate nella lor parte superiore, e caricate nella inferiore; i prolungamenti si osservano anche col catetometro. Il signor Savart ha fatto intorno a questo subbietto un gran numero di esperienze, le quali fanno parte del suo bel lavoro sulle vibrazioni longitudinali delle verghe: riportiamo qui una delle tavole contenute nella sua memoria.

Sostanze	DIMENSIONI		PESI TENDENTI						
	Lunghezza totale	Diametro	0ch	5ch	10ch	15ch	20ch	25ch	30ch
			Lunghezza della parte misurata						
	m.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Rame	1,3190	2,77	950.53	950,59	950,65	950,71	950,77	950.84	950,90
Rame	1,3190	2,77	475,25	475,28	475,33	475,36	475,38	475,42	475,45
Rame	1,3000	1,30	950,59	950.84	951,16	951,45	951,70	952,00	952,27
Ottone	1,3165	2,90	950,82	950,90	950,97	951,04	951,12	951,20	951,27
Acciajo	1,3184	2,77	950,25	950,29	950,34	950,38	950,41	950,46	950,50
Ferro	1,3150	2,90	950.50	950,54	950.57	950,60	950,62	950,65	950,68
Vetro	0,976	3,817	936,69	936,76	936.83	936,91	936,96	937,04	937,12
Vetro	0,939	4,073	937,04	937,12	937,16	937,22	937,27	937,34	937,39
Vetro	0,980	7,58	937,39	937,40	937,43	937,45	937,46	937,48	937,50

Intanto il primo processo può applicarsi ancora alle verghe ed alle sbarre di grandi dimensioni, e di forme diverse: per far questo si poggiano le verghe o le sbarre su due sostegni e si van caricandole di differenti pesi, giusto nel mezzo dell' intervallo degli appoggi, e si misurano col catetometro o con altro mezzo le frecce che misurano le flessioni relative a ciascun peso. In Meccanica è dimostrato il legame esistente tra i diversi elementi del problema: così se trattasi di pezzi aventi la forma d' un prisma rettangolare, si ha

$$e=\frac{2p\,(2a)^3}{4\,bc^3f},$$

ove $2a$ rappresenta la distanza degli appoggi, $2p$ il peso del quale è caricato il pezzo, f la freccia corrispondente, b la *larghezza* del pezzo, ovvero il lato orizzontale del rettangolo, e c il suo lato verticale, ossia l' *altezza* del pezzo.

Per un cilindro si ha

$$e=\frac{2p\,(2a)^3}{4\pi r^4f},$$

essendo r il raggio del cilindro.

La quantità e è ciò che *coefficiente d' elasticità* della sostanza s' appella; essa è propriamente il peso che sarebbe necessario a produrre in un prisma la cui sezione sia eguale all' unità, e sul quale si esercita lo sforzo, un allungamento eguale alla lunghezza primitiva di questo prisma. Così pel ferro si ha $e=20\,000\,000\,000$ di chilogrammi, prendendo il metro per unità di lunghezza; il che vuol dire che sarebbe necessario un peso di 20 bilioni di chilogrammi per produrre un allungamento di 10 metri in un prisma di ferro d' un metro quadrato di sezione, e 10 metri di lunghezza; oppure un allungamento di 20 metri in un prisma di 20 metri di lunghezza e d' un metro quadrato di sezione, ec.

Questa definizione suppone essenzialmente che gli allungamenti sien proporzionali agli sforzi di stiramento: or se, invece di esercitare uno stiramento eguale ad e, si eserciti un altro stiramento 20 000 volte più piccolo, ovvero di 1 milione di chilogrammi per metro quadrato, il che corrisponde ad 1 chilogrammo per millimetro quadrato, l'allungamento sarà pur esso 20 000 volte più piccolo, vale a dire $\frac{1}{20\,000}$ della lunghezza primitiva. Dividendo quindi il valore di e per un milione, e l'unità pel quoziente di questa prima divisione, s'avrà l' allungamento corrispondente ad uno stiramento d'un chilogrammo per millimetro quadrato.

Poichè il valore di e è caratteristico per ciascuna sostanza, così è mestieri determinarlo accuratamente per ognùna di queste; or dalla stessa formola precedente si trae un modo come giungere a questa determinazione: in effetti determinate che siano anticipatamente la distanza $2a$ degli appoggi, e le dimensioni del prisma, prendendo il metro per unità, si misurerà quindi, e con la medesima unità, la freccia f corrispondente ad un determinato peso $2p$, e s' avranno così espressi in numeri gli elementi dell' indicata formola, eccetto e, che verrà quindi da essa determinato.

È anche più esatto fare due operazioni con due pesi distinti $2p$ e $2p'$; allora dinotando con f ed f' le frecce, o abbassamenti corrispondenti, si avrà pel prisma

$$e=\frac{(2p'-2p)\,(2a)^3}{4\,(f'-f)\,bc^3},$$

e pel cilindro

$$e=\frac{(2p'-2p)\,(2a)^3}{4\,(f'-f)\,\pi r^4},$$

e sarà sufficiente osservare il peso addizionale $2p'-2p$, e l' aumento $f'-f$ della freccia.

In cotal modo sono stati determinati i coefficienti d' elasticità del ferro, del ferro fuso, e del legno, ed i risultamenti sono stati quelli qui appresso segnati.

	Valori di e o coefficiente d'elasticità	Nomi degli osservatori
	chi.	
Ferro	20 000 000 000. . .	Duleau
	23 000 000 000. . .	Tredgold
	21 193 000 000. . .	Savart
Ferro fuso	9 092 000 000. . .	Rondelet
	12 000 000 000. . .	Tredgold
	11 530 000 000. . .	Id.
Acciajo	18 194 000 000. . .	Savart
Rame	13 147 000 000. . .	Id.
	10 767 000 000. . .	Id.
	12 494 000 000. . .	Id.
Ottone	9 815 000 000. . .	Id.

Vetro	5 847 000 000. . .	Id.
	5 993 000 000. . .	Id.
	5 234 000 000. . .	Id.
Legno di quercia	1 012 000 000. . .	Duhamel
	1 688 000 000. . .	C.Dupin
	1 300 000 000. . .	Rondelet
	1 510 000 000. . .	Barlow
	683 000 000. . .	Id.
Legno di zappino	1 029 000 000. . .	C.Dupin
	1 300 000 000. . .	Rondelet
	934 000 000. . .	Barlow.

Da quanto si è detto risulta che gli allungamenti ai quali va soggetto un prisma di questi differenti corpi, di lunghezza l, e caricato alla ragione d'un numero k di chilogrammi per millimetro quadrato, è espresso da

$$\frac{100\,000\,kl}{e}.$$

Quest' allungamento assoluto sarà espresso in metri, centimetri o millimetri, secondo che la lunghezza l sarà essa stessa espressa con l' una o all' altra di queste unità.

All' opposto, conosciuto una volta quest'allungamento, insieme agli altri dati, se ne può dedurre il valore di e; ed è in tal modo appunto che dalla tavola delle osservazioni di Savart, più sopra riferite, ho dedotto i coefficienti d' elasticità del ferro, dell' acciajo, del rame, dell' ottone e del vetro, per inserirli nella precedente tavola. Si vedrà, non senza soddisfazione, che delle esperienze fatte con procedimenti sì poco simili, ed in circostanze assai differenti, abbian dato lo stesso risultamento in ordine al ferro.

Quando il valore di e sarà conosciuto, sostituendolo nell' equazione

$$e = \frac{2p\,(2a)^3}{4bc^3f},$$

si potrà determinare una delle cinque quantità che essa equazione contiene, essendo cognite le altre quattro; il che dà luogo a diversi problemi d' un' applicazione assai frequente.

Tenacità o *resistenza a la rottura*. — La tenacità de' corpi è la resistenza, che essi oppongono alla rottura, quando vengono stirati secondo la loro lunghezza. Sia s il numero di millimetri quadrati contenuti nella sezione perpendicolare all'asse d'un filo, d'una verga, o, in generale, d' un corpo prismatico; sia k il numero di chilogrammi necessarii a produrre la rottura per stiramento. Ammettendo compartirsi egualmente lo sforzo di tutti i millimetri quadrati della sezione s, egli è evidente che $\frac{k}{s}$ sarà lo sforzo che soffre il millimetro quadrato; questa espressione è quella che, generalmente, si prende per misura della tenacità. Secondo questa definizione una sostanza avrà una tenacità doppia di quella d' un'altra, quando il valore di $\frac{k}{s}$ relativo alla prima è doppio di quello relativo alla seconda.

La resistenza alla rottura può essere osservata anch'essa con i due processi che servono a determinare il coefficiente d' elasticità; ma la via diretta, quella cioè dello stiramento nel senso della lunghezza, può applicarsi solo quando trattasi di fili o di verghe di piccole dimensioni; mentre che il metodo de' due appoggi e della carica nel mezzo si applica ai pezzi di maggiori dimensioni. In questo caso convien osservare la freccia della rottura, quella cioè che ha luogo nel momento in cui il pezzo sta per rompersi. Allora il coefficiente r della rottura è dato dalla formola

$$r = \frac{2p.3a\left(1+3\frac{f^2}{a^2}\right)}{bc^2},$$

essendo f la freccia della rottura, e $2p$, $2a$, b e c avendo gli stessi significati che avevano nella formola di e.

Disprezzando il termine $\frac{f^2}{a^2}$, il quale, in generale, è piccolissimo, si ha più semplicemente

$$r = \frac{2p.\,3a}{bc^2},$$

e la questione, in ciascun caso, riducesi a determinare il valore del peso che produce la rottura. In queste formole, prendendosi il metro per unità di lunghezza, i valori di r rappresentano i numeri di chilogrammi, corrispondenti ad una sezione di 1 metro quadrato; quindi dividendo questi numeri per 1 000 000, s'avranno i valori della tenacità, ossia le cariche per millimetro quadrato che cagionano la rottura.

La tavola seguente contiene i risultamenti delle sperienze fatte a tal proposito.

	Tenacità o carica di rottura per 1 millimetro qua.	Nomi degli Sperimentatori
Filo di ferro	60	Buffon
	64	Telfort
	40 a 90 . .	Seguin
	50 a 84 . .	Dufour
Sbarre di ferro	44,5 . . .	Poleni
	43	Perronet
	47	Soufflot e Rondelet
	30 a 50 . .	Minard e Desormes
	46	Telfort
	40	Brown
	30 a 60 . .	Seguin
	30 a 40 . .	Emilio Martin
Ferro in lamine	36 a 41 . .	Navier
Sbarre d' acciajo	30 a 40 . .	
Ferro fuso	[illegible] 14 . .	Minard e Desormes
	[illegible] 2 . .	Brown
	1[illegible] a 14 . .	Rennie
Rame rosso	45 a 70 . .	Minard e Desormes
Id. ricotto	21 a 25 . .	Id.
Id. battuto	25.	Rennie
I. fuso	13.	Id.
Id. laminato	21	Navier
Ottone in filo	4[illegible] 70 . .	Dufour
Id. fuso	13	Rennie
Metallo di cannone	18 a 23 . .	Minard e Desormes
Id.	25	Rennie
Stagno fuso	3	Id.
Id.	2	Minard e Desormes
Piombo	1,3 . . .	Minard-Rennie-Navier.
Vetro	2,5 . . .	Navier
Legno di quercia	9,8 . . .	Rondelet
Id.	6,5 . . .	Minard e Clément
Cordame	5 a 6 . .	Noirfontaine.

Debbo far notare che tutti questi numeri sono stati ottenuti col metodo diretto; che le sperienze fatte su i legni, col metodo degli appoggi; da Buffon, Barlow e Tredgold, danno pure una tenacità media di 6 a 9 chilogrammi, conforme a quella della precedente tavola; ma che quelle fatte sul ferro fuso da Banks, Gauthey, Rondelet, Rennie e Tredgold, s'allontanano considerabilmente da quelle che ottengonsi col metodo diretto, poichè danno delle tenacità doppie e quasi triple. Così mentre Gauthey trove 28chi, Rennie ne trova 38chi.

Della resistenza de' vasi. Per formarsi una idea dell' effetto prodotto dai liquidi sulle pareti de' vasi, immaginiamo un anello, o meglio un filo flessibile, tutti i punti del quale sieno spinti, da dentro in fuori, da forze eguali. Se esso è elastico, allora è evidente che queste forze normali fanno uno sforzo per stenderlo dapprima e poscia romperlo; esse dunque si trasformano in forze tangenziali che agiscono in senso contrario; ed operano su quel filo allo stesso modo che farebbero delle forze di stiramento che si esercitassero nel senso della lunghezza. La Meccanica dà le formole come eseguire questa trasformazione di forze normali in tangenziali, e trova questa conseguenza, che lo sforzo f, il quale si esercita secondo la tangente, eguaglia la pressione normale moltiplicata pel raggio dell' anello, ovvero in altri termini che $f=pr$.

Immaginiamo ora un tubo cilindrico ripieno di liquido. Sia e la sua grossezza in millimetri, ed r il suo raggio. Immaginiamo inoltre due piani perpendicolari all' asse, distanti tra loro per 1 millimetro, e che per conseguenza staccano, dall' anello totale, un anello parziale di 1 millimetro d' altezza; e supponendo essere p la pressione normale per ogni millimetro quadrato, quella secondo la tangente sarà $f=pr$. Ma la resistenza a questo sforzo è rappresentata da te, essendo t la tenacità della materia di cui è formato l' anello; dunque al limite della sua resistenza, cioè quando questa resistenza equilibra lo sforzo, sarà

$$pr=te, \text{ donde } p=\frac{te}{r}.$$

Tale è dunque la pressione massima che l'anello possa sopportare. E da questa formola si vede, come essendo date tre delle quantità e, p, r, t, si possa ottenere la quarta.

Ponghiamo esempio che si tratti d' una caldaia a vapore cilindrica di ferro in lamine, d'un metro di diametro, e che debba sostenere la pressione di 10 atmosfere: quale dovrà esserne la grossezza? Essendo $p=0^{chi},1$; $t=36^{chi}$; $r=500^{mm}$, sostituendo questi valori nella formola precedente si troverà $e=\frac{50}{36}=1^{mm},39$. Ma è agevole comprendere che non vi sarebbe sicurezza alcuna, finchè non si prendesse una grossezza 7 o 8 volte più grande di questa data dalla formola.

Ne' tubi chiusi alle due estremità, le pressioni che soffron le basi producono uno stiramento sulla lunghezza; questo sforzo parallelo all' asse è soltanto $\frac{pr}{2}$, ovvero la metà dello sforzo perpendicolare al detto asse.

320. *Della elasticità di torsione.* — La facilità con la quale i sottili fili di metallo possono esser torti, e la perfetta regolarità con la quale riprendono il primiero loro stato e la primiera giacitura, han menato i fisici a parecchie importanti scoperte.

Fu Coulomb che la prima volta pose mente come si conveniva a cotesta proprietà, e ne fece le prime felicissime applicazioni, determinando nella sua bilancia di torsione le leggi fondamentali de'fluidi elettrici e magnetici. Alcuni anni dopo Cavendish pervenne dal canto suo ad un risultamento anche più singolare, perciocchè egli determinò la densità e quindi il peso della terra, mercè la torsione di un piccolo filo di argento di alcuni decimetri di lunghezza e di alcuni centesimi di millimetro di diametro.

Le leggi generali dell' elasticità di torsione possono essere con l'esperienza dimostrate: per il che si adoperano diversi strumenti, i quali si fondano sullo stesso principio, ma sono regolati secondo le dimensioni e la forza del filo. Lo strumento della figura 27 conviene a'fili atti a portare 100 in 200 chilogrammi. In questo caso si adatta alla traversa una forte pinzetta di ferro che fissa l'estremo superiore del filo, nell'atto che il suo estremo inferiore passa in un anello, la cui cima è ben posta in centro rispetto all'asse del peso di ferro fuso o di piombo *b*, il quale è forza che abbia la forma di un largo cilindro molto omogeneo in tutta la sua massa.

Per mezzo di questo si dimostrano le leggi seguenti:

1° *Caricando un filo di diversi pesi, esso generalmente si ferma in diverse giaciture di stabilità.* Talvolta cotesta variazione può estendersi fino ad una semicirconferenza, o anche ad una circonferenza intera. Molti fili uniti insieme presentano lo stesso fenomeno: così quando si sospende, per esempio, un ago calamitato ad un fascio di seta distesa, è mestieri trovare da prima la giacitura di equilibrio di questo filo composto, sospendendovi un peso eguale a quello dell' ago calamitato che dovrà poscia tener sospeso. Un peso maggiore o minor genererebbe sul filo anzidetto una torsione che facilmente potrebbe indurre alcuna varietà sull'ampiezza delle variazioni diurne.

2.° *Le variazioni del filo sono isocrone*, cioè si eseguono tutte nello stesso tempo, sia quale si voglia la loro ampiezza, purchè non oltrepassi un certo termine che dipende dalla natura e dalla lunghezza del filo; ma questo limite sovente va ad una semicirconferenza o ad una circonferenza intera. Da ora innanzi parleremo solo delle vibrazioni *piccolissime* cioè isocrone.

Per poter verificare con l'esperienza la legge dell'isocronismo, si lega il filo alla pinzetta di sopra, si carica in un peso di figura cilindrica atto a tenerlo teso ma incapace di tirarlo, e quando l' equilibrio è ben composto, si rivolge il cilindro per 50, 100 o anche 180°, con l'avvedutezza di serbare invariabile la giacitura dell'asse che corrisponde con l'asse del filo; indi si abbandona a se stesso; le vibrazioni cominceranno, e si debbon numerare cominciando da un dato momento per mezzo di un riscontro o indice che va unito al cilindro, e con un buon orologio a secondi si misura il tempo.

Mercè i principî della Meccanica, si dimostra, che quando le vibrazioni sono isocrone è mestieri assolutamente che *la forza di torsione dalla quale sono generate sia proporzionale all'angolo di torsione.*

3° *Le durate delle vibrazioni sono tra loro come le radici quadrate de' pesi che stirano il filo.*

Cotesta verità può esser renduta aperta con molta giustezza, solo per que'fili che sono nello stesso tempo sì cedevoli da dover esser tesi da pesi leggierissimi, e sì tenaci da poter sostenere de' pesi considerabili senza essere *allungati;* perciocchè allora si potranno tra questi limiti prendere de' pesi che siano tra loro come i numeri 1, 4, 9, 16, 25, ec., e vedere, mercè di vibrazioni simili alle precedenti, le durate di queste essere fra loro come i numeri 1, 2, 3, 4, 5, ec.

Con l'ajuto de'pricipî di Meccanica si dimostra, queste tre leggi non poter sussistere *se la forza di torsione del filo non resti perfettamente la stessa sotto i diversi pesi che tendono il medesimo.*

4° *Le durate delle oscillazioni sono tra loro come le radici quadrate delle lunghezze del filo.*

Se si prendono cioè varie lunghezze di un medesimo filo, in guisa che siano tra loro come i numeri 1, 4, 9, 16, 25, ec., e si facciano oscillare gravati sempre dello stesso peso, le durate delle vibrazioni saranno come i numeri 1, 2, 3, 4, 5, ec.

La durata delle vibrazioni crescendo al crescere della lunghezza del filo, è chiaro che la forza di torsione debba diminuire; e si può

teoricamente dimostrare che essa diminuisce appunto in ragion che cresce la lunghezza del filo, perciocchè questa ipotesi è la sola che dimostra l'antecedente legge sperimentale.

Si può per altro dar ragione di questa legge teorica osservando, che per un medesimo angolo di torsione lo spostamento delle molecole è veramente ridotto alla metà quando doppia è diventata la lunghezza del filo, alla terza parte se tripla, ec., e però, esser cosa naturale che la forza di torsione sia allora ridotta alla metà, alla terza parte, ec.; perciocchè questo prova che essa sia proporzionale allo spostamento delle molecole, siccome potrebbesi *a priori* immaginare.

5° *Le durate delle vibrazioni sono tra loro in ragione inversa de' quadrati de' diametri de' fili.*

Se si prendano, cioè de' fili della stessa materia e lunghezza, i quali abbiano i diametri espressi da'numeri 1, 2, 3, 4, ec., e caricandoli dello stesso peso facciansi oscillare, le durate delle vibrazioni saran tra loro come i numeri 1, 4, 9, 16, ec.

Dalla teorica si conclude che le forze di torsione sono tra loro come le quarte potenze de' diametri de' fili, perocchè le forze di torsione sono tra loro in ragion reciproca della durata di una vibrazione.

320 *bis.* Dopo di aver riferito le leggi sperimentali della torsione, e dopo di averle confrontate colle leggi teoriche, con le quali aver debbono delle necessarie attenenze, non sarà forse inutile recare qui la formola generale che comprende tutti questi risultamenti. La formola è la seguente:

$$t^2 = \frac{\pi^2 \, p r^2}{2\, g f},$$

π, ragione approssimativa della circonferenza al diametro, 3, 141592.

g, gravità a Parigi, ossia 9^{m}., 8088, prendendo il metro per unità di lunghezza, ed il minuto secondo sessagesimale per unità di tempo.

t, durata di una vibrazione espressa in secondi.

p, peso cilindrico che tende il filo.

r, raggio del cilindro il cui peso è p, e questo deve essere espresso in metri.

f, forza di torsione del filo, cioè forza che sarebbe mestieri adoperare all'estremo di una leva lunga un metro per mantenerlo torto per un arco la cui misura in linea retta fosse di un metro, misurato sopra una circonferenza di un metro di raggio. Così la forza di torsione viene espressa da un peso, ed è stimata per grammi o per chilogrammi, secondo che il peso p sia espresso per l'una o per l'altra di queste unità.

Questa formola può servire a calcolare il valore assoluto della forza di torsione, ed a rendere aperte le attinenze che si hanno tra cotesta forza e la durata delle vibrazioni, la loro ampiezza, il peso del cilindro che torce il filo, ed il raggio dello stesso; e facil cosa è il farne applicazioni.

LIBRO QUINTO

ACUSTICA.

321. L'Acustica ha per obbietto di fermare le leggi secondo le quali i suoni ne'corpi si generano e si propagano fino a' nostri organi. Questa scienza appartiene alla fisica, perciocchè i corpi quando generano de' romori o dei suoni soffrono nella loro massa de' notevoli cambiamenti i quali derivano dalle forze fisiche onde essi sono formati. Vedremo che i medesimi allora sono scossi in tutte le loro parti, e che le molecole onde sono composti eseguono delle vibrazioni e de' moti talmente rapidi, da non poter essere affatto numerati per via di osservazioni dirette. L'ampiezza e la durata di questi moti, la direzione secondo la quale si propagano, e l'armonia che regnar deve tra essi, affinchè si mantengano e durino senza distruggersi, sono i più maravigliosi fenomeni che si parano innanzi a' fisici per potere studiar l'ordinamento delle molecole de' corpi, l'elasticità de' medesimi, e tutt'i particolari di loro interna struttura.

Per formarci una prima idea del numero e della varietà dei fenomeni che l'acustica comprende, basterà sapere che tutt'i suoni che possiamo ascoltare, e tutte le gradazioni che il nostro udito può tra essi avvertire, corrisponder debbono ad altrettante diverse modificazioni fisiche nell'aria, dalla quale siffatte impressioni ci vengono arrecate, e nel corpo sonoro più o men lontano dal quale l'aria le ha ricevute. Ed è appunto la serie di questi moti, comunicati di falda in falda dal corpo sonoro fino a noi, che qui si tratta di mettere in disamina. Laonde l'acustica prende il suono nella sua origine; essa si accerta per così dire del moto di tutte le molecole del corpo sonoro, essa fa vedere come questo moto si propaga per l'aria e ne penetra la massa, e come final-

mente viene a colpire l'esterne membrane dell'organo del nostro udito: ivi la scienza si arresta; conciossiachè quando il nervo acustico ha ricevuto la sua impressione, più non si ravvisano segni di materiali modificazioni, e però non si tratta più di fenomeni fisici.

Coteste idee generali bastano a rendere aperta la differenza che passa tra l'acustica e la musica: la prima di tali scienze considera il suono fuori di noi e della sensazione che può generare; la seconda lo considera in noi, nelle emozioni che può far nascere; ne'sentimenti o nelle passioni che può destare o modificare.

CAPO PRIMO.

DELLA GENERAZIONE DEL SUONO, E DELLA SUA PROPAGAZIONE NELL'ARIA ATMOSFERICA.

322. *Il suono è un certo peculiar movimento della materia ponderabile.* — Se si ascolti un suono, ed in pari tempo si ponga mente alla cagione che lo produce, si vedrà che questa cagione si è restata dall'operare prima che il suono giungesse al nostro orecchio: così nello scoppio delle armi da fuoco si vede la luce prima di sentire il colpo; e ad una distanza minore di 10 o 12 metri ci par che la luce ed il romore colpiscano nello stesso tempo l'occhio e l'orecchio; e quanto maggiore è la distanza, tanto maggiore è il tempo che passa tra l'apparir della luce ed il sentire il rumore. Accade lo stesso dello scroscio del fulmine: il lampo risplende prima che si ascolti il fragore del tuono, ed il tempo che passa tra questi due fenomeni ci può far giudicare dell'altezza, o forse meglio della distanza cui trovasi la nube del fulmine. Premesse tali cose, si comprenderà che molti osservatori disposti sulla stessa linea di 100 in 100 passi non sentirebbero nello stesso tempo un rumore che si producesse verso uno degli estremi dell'anzidetta linea presso il primo osservatore: costui lo sentirebbe prima di tutti, il 2° prima del 3° questi prima del 4°, ec., e quello cui conviene por mente, si è che nel tempo che il 3° osservatore per esempio ascolterebbe il suono, il 1° ed il 2° più non lo sentirebbero, nell'atto che ancora dovrebbe esso giungere all'orecchio del 4° e de'seguenti. Da questa sperienza si può dunque concludere, che un suono momentaneo, come sarebbe quello che si genera da urto o scoppio, passi successivamente da un luogo all'altro, e però che sia un certo moto che l'organo dell'udito colpisce.

Ma per quale sostanza si può questo moto propagare con sì grande velocità? forse per mezzo dell'aria o per altro fluido? Siffatta questione, in apparenza cotanto difficile, può essere in modo sicuro risoluta mercè la seguente sperienza.

Nel mezzo del piatto della macchina pneumatica si pone un piccol cuscino di lana o di cotone, sul quale si adatta un congegno fatto con meccanismo simile a quello degli orologi e fornito di un *grilletto* e di un campanello; questo congegno si pone sotto una campana penetrata convenientemente da un'asta, volgendo la quale si urta il grilletto facendo operare la molla dopo di aver fatto il vuoto. In questo l'orologio si avvia, il martello di tempo in tempo batte sul campanello, e frattanto da fuori nessun rumore si sente. Facendo però entrare un po' d'aria nella campana, ad ogni colpo di martello cominciasi ad ascoltare un lieve suono molto acuto; nuova quantità di aria rinforzerà questo suono; e quando la campana avrà ricevuta tutta l'aria che prima conteneva, il suono sarà forte e si farà sentire da lungi. Il suono dunque non si propaga nel vuoto; e dove non si trova più materia ponderabile manca il veicolo del suono.

Laonde il suono scema d'intensione per due cagioni, allorchè si genera in alto: scema cioè perchè cresce la distanza, e perchè l'aria in cui si diffonde è sempre più rarefatta. I rumori che più fortemente rimbombano sulla terra non possono andare oltre dell'atmosfera; s'infievoliscono sempre più con l'avvicinarsi a'confini della stessa senza poterli mai superare. E per contro, nessun rumore può dagli spazi celesti giungere fino a noi: potrebbe sul globo lunare accadere il più terribile scoppio senza che ci fosse possibile di udirne il minimo rimbombo.

Saussure dice che sulla cima del monte Bianco un colpo di pistola facea meno rumore di un piccol petardo che scoppiasse nel piano; ed il sig. Gay-Lussac si assicurò che la sua voce erasi molto infievolita quando trovavasi sospeso nel suo aerostato all'altezza di 7000 metri in un aere moltissimo rarefatto.

Non solo l'aria ha la virtù di propagare i suoni, ma tutt'i fluidi elastici; per rendersene certo sospendasi entro un gran recipiente sferico (*fig.* 28) con fili di canape non torti un piccolo campanello; si faccia il vuoto, ed il campanello non si potrà più udire; ma se in questo recipiente si facciano passare alcune gocce di un liquido volatile, come l'etere, il vapore tosto si formerà ed il suono diverrà molto sensibile.

L'acqua propaga il suono benissimo: i marangoni possono ascoltare quel che loro si dice

dalla riva, e dalla riva si può sentire il rumore di due ciottoli che si urtano nell'acqua a molta profondità.

I corpi solidi, da ultimo, non solo possono generare il suono, ma possono anche per tutta la loro massa propagarlo: quando il campanello sta sotto il recipiente, è mestieri certamente che il suono attraversi le pareti di questo per farsi sentire al di fuori. Molte simili esperienze rendono aperta questa verità, ma noi ci restringeremo qui ad indicarne una sola. Se un osservatore avvicini l'orecchio all'un de'capi di un travicello di abete di venti in venticinque metri di lunghezza, egli udirà il rumore che si potrà fare all'altro estremo lievemente toccando i capi estremi delle fibre, e questo rumore è sì debole nell'aria che appena può essere inteso da coloro che lo producono.

Dopo di avere mostrato essere il suono un moto generato nella materia ponderabile, e potersi propagare per tutt'i corpi, è mestieri cercar di conoscere quale sia la natura di questo moto.

323. *Il moto che genera il suono è un moto di vibrazione.* — La maggior parte de' corpi sonori eseguono delle sensibili vibrazioni in tutto il tempo in cui suonano. Questo fenomeno è spezialmente sensibile nelle corde di violino, di arpa, di chitarra, e di altri simili strumenti: è vero che le vibrazioni sono così rapide da non poter esser numerate; ma l'occhio le vede, discerne i limiti delle loro ampiezze, e crede di vedere la corda in pari tempo in tutte le giaciture intermedie, in quella guisa appunto che vede un nastro di fuoco, allorchè un carbone acceso percorre una circonferenza con sufficiente velocità. Queste *oscillazioni* o questi moti di *va e vieni* sogliono in acustica chiamare *vibrazioni*.

Ne'campanelli e nelle campane coteste vibrazioni son meno apparenti, ma succedono come nelle corde: per rendersene certo bastasi una grande campana di vetro per farle rendere un suono, inclinandola in guisa che una palla ne tocchi la parete; si vedrà la palla saltellare con rapidissimo moto, e si ascolteranno i ripetuti colpi che essa produrrà ricadendo pel suo peso.

Da ultimo basterà appoggiare leggermente il dito sopra qualsivoglia corpo sonoro per sentire in tutte le parti di questo un fremito che accompagna sempre la produzione del suono; ma se in un sol punto questa pressione si facci alquanto forte, il moto si arresterà in tutta la massa ed il suono si sospenderà.

V'ha degli strumenti, come il flauto e lo zufolo, i quali sembrano fare eccezione al principio generale da noi posto, perciocchè sembra che in questi corpi sonori non vi sian punto vibrazioni, ma noi di corto vedremo, che se la materia solida di questi strumenti non vibra punto o almeno non vibra sensibilmente, vi ha sempre però una materia vibrante, e questa è l'aria che essi contengono. Laonde il principio è vero in tutta la sua generalità, e noi mostreremo che l'aria la quale propaga il suono vibra al pari del corpo sonoro medesimo.

324. *Ogni vibrazione del corpo sonoro genera nell'aria un'ondulazione di una determinata lunghezza.* — Questa proposizione è delle più difficili e delle più importanti dell'acustica; ma noi dobbiamo da ora esporla, e metter tanto maggior cura a farla intendere in quanto che essa ci servirà come punto di partenza per esporre le teorie dell'ottica.

Figuriamoci un tubo orizzontale tt' (*fig.*29) avente per esempio 10000 piedi di lunghezza e un piede di diametro: l'aria onde esso è ripieno trovasi per tutto alla stessa temperatura e sotto la stessa pressione; suppongasi che uno stantuffo p, che combaci assai bene con le pareti, possa in un minuto secondo di tempo compiere una vibrazione tra le due giaciture p ed s le quali siano distanti per un piede.

Tutto essendo in quiete, lo stantuffo parte per giungere in s; durante questo moto l'aria del tubo si *modifica* in certa guisa, e per meglio studiare le modificazioni che riceve, noi la considereremo nel momento preciso in cui lo stantuffo giunge in s, e supporremo che tutte le molecole dell'aria restino come si trovano in quel momento, o per dir meglio, supporremo che le compresse non possan dilatarsi, le dilatate non possano avvicinarsi, e quelle che si trovano in quiete rimangano in questo stato.

Se la colonna d'aria si comportasse come un corpo solido perfettamente duro, è chiaro che uno dei suoi estremi essendo spinto dallo stantuffo, l'altro nello stesso tempo uscirebbe per altrettanto dal tubo; ma nessun corpo è perfettamente duro; l'aria è assai fluida e compressibile, e quando lo stantuffo spinge innanzi uno degli estremi della colonna, non può l'altro nello stesso tempo ubbidire; è mestieri che passi un certo tempo affinchè l'impressione fino ad esso si propaghi; e ponendo mente alla lunghezza che abbiamo data al tubo, si può con sicurezza affermare che non sia uscita alcuna molecola dall'estremità aperta t, mentre lo stantuffo è passato da p in s. L'aria dunque si è *compressa* nel tubo a destra dello stantuffo, perocchè essa occupa ora un piede di me-

no. È chiaro poi che non sia *egualmente* compressa in tutta la lunghezza del tubo, perciocchè durante 1″ che lo stantuffo ha impiegato per venire da p in s la compressione non ha potuto diffondersi e giungere fino all'opposta parte, ma sarà per esempio arrivata in a. Cotesta parte as della colonna d'aria che ha potuto essere *modificata* durante il moto dello stantuffo, dicesi un' *onda*, ovvero un' *ondulazione*, e *lunghezza dell' onda* direbbesi la distanza che intercede tra s ed a.

Vediamo ora come l' aria vien modificata nelle diverse parti delle onde per la qual cosa immaginiamo de' piani paralleli allo stantuffo, i quali dividano la colonna d'aria in piccole falde della stessa grossezza. Per sapere dunque quello che sia avvenuto a tutta l'aria onde componesi un'onda, basterà conoscere quello ch'è avvenuto ad una molecola di ciascuna falda. Or poichè l'aria che era contenuta tra p ed a è stata compressa e ridotta tra s ed a, è mestieri che in ogni falda le molecole abbian provato due effetti; 1° che siano state compresse, 2° che abbiano ricevuto una certa velocità impulsiva, tendente cioè ad allontanarle dal centro di scuotimento o dallo stantuffo che le ha spinte.

È chiaro che in tutta la lunghezza dell'onda non possono le varie falde trovarsi allo stesso stato; l'ultima falda, per esempio, quella che è in a, ha dovuto ricevere picciolissima compressione, perocchè il moto appena è giunto fino ad essa: la prima falda, che è in s, trovasi già in quiete, perocchè noi consideriamo il fenomeno nel momento in cui lo stantuffo si ferma; e siccome non ha più velocità, così non è più compressa; essa ha comunicato tutto quello che avea. Le falde al contrario che trovansi nel mezzo dell'onda, hanno nel tempo stesso la maggiore compressione e velocità. V' ha dunque un certo ordine nelle diverse modificazioni delle varie falde, tanto per la velocità delle varie molecole d'aria, quanto per la loro compressione. Quest' ordine deriva da quello delle velocità crescenti e descrescenti con le quali lo stantuffo è andato da p in s.

Si possono con una figura che parli all'occhio, esprimere tutti i moti che distinguono un'onda dalla sua origine sino alla fine; per la qual cosa sulla linea sa che ne dinota la lunghezza basterà elevare delle perpendicolari, le cui altezze rappresentino il grado di compressione delle falde corrispondenti: gli estremi di queste perpendicolari formeranno una linea la cui curvatura o le cui sinuosità rappresenteranno l'ordine secondo il quale le compressioni delle falde succedonsi. In s la perpendicolare sarà nulla, perocchè nulla è la compressione; dicasi lo stesso per a; in x l'altezza della perpendicolare sarà per esempio xx', in y sarà yy', ec., in modo che la curva delle compressioni $sy'a$ potrà essere una mezza circonferenza di cerchio. Ma è agevole l'intendere che sopra questa lunghezza sa si può segnare una infinità di curve continue che passino pe' punti s ed a, siccome vedesi nella figura 30; ed essendo data una di siffatte curve, si può sempre assegnare allo stantuffo nel passare da p in s un moto tale da generare un'onda le cui successive compressioni siano da questa curva rappresentate. Quando nella curva delle compressioni vi sian molte sinuosità, siccome vedesi nella figura 31, l' onda che vi corrisponde chiamasi *onda addentellata*.

Avendo posto in disamina le varie modificazioni che lo stantuffo può imprimere alla colonna d'aria passando da p in s in 1″ di tempo, vediamo quello che dovrà accadere nel momento appresso, supponendo sempre lo stantuffo fermo in s. L' aria momentaneamente compressa da s fino ad a, non può rimanersene in questo stato; perciocchè il tubo essendo aperto in t, conviene che dopo un certo tempo l'aria eccedente esca e tutta la colonna riducasi in quiete. Ora dimostrasi in Meccanica la velocità e la compressione propagarsi di falda in falda nel seguente modo; nel 1° momento del secondo minuto *secondo*, la velocità passa a destra di a, s'impadronisce di una prima falda, ed in pari tempo quella che tocca lo stantuffo riducesi in quiete; nel 2° momento una seconda falda a destra di a è assalita, ed una seconda innanzi allo stantuffo si arresta; nel 3° istante il moto giunge alla terza falda a destra di a, e la terza innanzi allo stantuffo si ferma ec.: in guisa che dopo il 2° minuto secondo l'aria è ridotta in quiete da s fino ad a, ed è in moto da a fino a b, la lunghezza ab è uguale ad sa, e di più le compressioni e le velocità da a fino a b sono perfettamente quelle che erano da s fino ad a. In tal modo l'ondulazione va innanzi e si propaga quasi di un sol pezzo, serbando la sua lunghezza con tutte le altre qualità; alla fine del 3° minuto secondo sarebbe in bc, alla fine del 4° in cd, ec.

L' onda nella quale tutte le falde son *compresse* e tutte le velocità *impulsive*, chiamasi *onda condensata* e talvolta anche *onda condensante*.

Ma è agevole l'intendere che fenomeni opposti siano avvenuti a sinistra dello stantuffo p nel tempo in cui si è tramutato in s. È per fermo uno spazio maggiore si è parato dinanzi alla colonna d'aria, la 1ª falda si è menata ap-

presso allo stantuffo *rarefacendosi*, la 2ª ha seguito la prima venendo in luogo di quella, ec.; e dopo il primo *secondo*, quando lo stantuffo si è fermato in *s*, la rarefazione è giunta fino ad *a'*. L'onda che ne risulta dicesi *onda rarefatta* o anche *onda rarefaciente*; la sua lunghezza è perfettamente eguale a quella dell'onda condensata che si genera innanzi allo stantuffo; le rarefazioni sono nulle in *s* ed in *a'*; ed in tutte le falde le velocità sono *appulsive*, cioè dirette verso il centro del moto. Quest'onda rarefatta propagasi egualmente di falda in falda in tutta l'estensione della colonna d'aria, serbando sempre la stessa lunghezza e la stessa successione di velocità e di rarefazioni.

Queste considerazioni ci fanno già da ora prevedere i principî da' quali dipende il fenomeno dell'udito; imperciocchè se noi in qualche punto del tubo immagineremo una falda qualunque *h* (*fig.* 29), intenderemo che essa soffrir deve successivamente tutte le modificazioni che costituiscono l'onda *sa*, perocchè essa diventa sussecutivamente la 1ª, la 2ª, la 3ª, . . . e l'ultima falda di quest'onda. E se supporremo in questa falda posta una piccola membrana molto sottile ed elastica, è chiaro che essa dovrà ricevere secondo il loro ordine tutte le spinte che si ricevono dalle molecole dell'aria, e questo appunto avviene alla *membrana del timpano* che termina il meato di cui l'orecchio n'è come l'espansione. Intendesi dunque che questa membrana, la cui mobilità eguaglia quella dell'aria, può ricevere e direi quasi numerare tutte le modificazioni delle varie falde dell'onda sonora.

Se lo stantuffo, dopo di essersi per un istante impercettibile arrestato in s, ritorna nella sua primiera giacitura *p* ripassando con le stesse velocità, è chiaro che genera dietro di se a destra di *s* un' onda rarefatta perfettamente simile a quella che avea generata a sinistra nel suo andare, e che quest'onda si metterà in seguito della prima onda condensata, in guisa che alla fine del 2° minuto secondo l' onda condensata sarà tra *a* e *b* e la rarefatta tra *a* ed *s*. Dall' altro lato per contrario l' onda rarefatta sarà tra *a'* e *b'*, e la condensata tra *a* ed *s*; indi un altro andare ed un altro ritorno dello stantuffo farà nascere onde simili e similmente disposte, le quali seguiteranno le prime, e così appresso. Allora un orecchio disposto in qualche parte del tubo non ascolterebbe più un suono passeggiero come il rumore di uno scoppio, ma un suono continuo più o men grave, più o men forte, e di una maniera più o men gradevole.

325. *Della gravità e dell' acutezza de' suoni.* — La differenza che passa tra i suoni gravi e gli acuti è talmente spiccata pel nostro udito, che deve sicuramente corrispondere ad alcune distinte modificazioni fisiche dell' aria che tai suoni arreca. Dimostreremo appresso per via di osservazioni dirette che il suono più grave che ascoltar possiamo ha le onde lunghe 32 piedi e che il suono musicale più acuto le ha di una lunghezza di circa 18 linee Tra questi due termini non riduconsi tutti i suoni e tutte le gradazioni che il nostro udito può distinguere, e due onde della stessa lunghezza danno sempre il perfetto *unisono*, sia qualsivoglia l'intensione o la qualità del suono che esse arrecano. La ragion di gravità o di acutezza di due suoni è ciò che *tuono* addimandasi.

326. L' *intensione* del suono non può derivare dalla lunghezza delle onde: essa deriva solo dalle più o men gagliarde compressioni o dalle più o men grandi velocità che l' aria dal corpo sonoro ha ricevuto e che di falda in falda fino al nostro orecchio si propagano. Una corda di basso può stare all' unisono col lacerante romore del *tam-tam*; cioè le onde son della stessa lunghezza, ma l' aria colpita dal *tam-tam* compie delle vibrazioni la cui ampiezza è molto più grande, e da ciò deriva quel suono da stordire.

327. La qualità (*timbre*) de'suoni si distingue più difficilmente dal tuono e dalla intensione; i fisici non convengono interamente su questo punto, ma pare molto probabile che essa derivi dall 'ordine secondo il quale la velocità ed i cambiamenti di densità si succedono nelle diverse falde d'aria comprese tra i due estremi dell' onda o anche dal perchè le parti condensate e rarefatte dell'onda possono in molte congiunture non essere simmetriche (*fig.* 32).

328. *Tutt'i suoni, qualunque ne sia il tuono o la intensione, si propagan nell' aria con la stessa velocità.* — Se più osservatori ascoltino un concerto musicale da diverse distanze, sentiran tutti la stessa durata de' tuoni e la stessa armonia. Laonde i suoni propagandosi si succedono con lo stesso ordine e con gli stessi intervalli; il che fa supporre che procedono con la stessa velocità; imperciocchè se i suoni gravi per esempio precedessero gli acuti, il tempo musicale ne verrebbe turbato, e quel che sarebbe un' armonia alla distanza di dieci passi, sarebbe a cento una cacofonia insopportabile.

329. *La velocità del suono è di 340 metri* (1) *per ogni minuto secondo nell' aria, quando la temperatura di questa sia a 16°.*—Sonosi fatte in diversi luoghi molte sperienze per determi-

(1) Ossia 1292 palmi circa.

nare la precisa velocità del suono. Noi ci restringeremo ad esporre solo quelle che furon fatte presso Parigi dall' ufficio delle Longitudini nel 1822.

Le due stazioni scelte furono Villejuif e Montlherry. A Villejuif il capitano Boscary fece situare un cannone da sei con cartucce di due o tre libbre di polvere; gli osservatori che stavano intorno a questo cannone erano i signori Prony, Arago e Mathieu. A Montlherry il capitano Pernetty fece porre un altro cannone dello stesso calibrio con cartucce dello stesso peso; intorno a questo erano i signori de Humboldt, Gay-Lussac e Bouvard. Le sperienze si fecero di notte, e cominciarono alle 11 della sera il 21 ed il 22 giugno del 1822. Da Villejuif si ascoltava con molta chiarezza il colpo del cannone di Montlherry, ed al contrario; il cielo era sereno e l'aria quasi tranquilla.

I cronometri erano ben regolati; erasi convenuto che da ogni stazione si tirerrebbero 12 colpi di 10′ in 10′, e che la stazione di Montlherry comincerebbe 5′ prima di quella di Villejuif; in modo che un osservatore che si trovasse proprio nel mezzo della linea dei due cannoni, avrebbe ascoltato di 5′ in 5′ dei colpi *incrocicchiati* o *reciproci*, il 1° proveniente da Montlherry, il 2° da Villejuif, il 3° da Montlherry, ec. Questi colpi scambievoli erano il solo mezzo di scoprire l'efficacia del vento sulla velocità del suono, o di scoprire più generalmente se in mezzo alle infinite variazioni che continuamente l'atmosfera modificano, il suono percorre sempre lo stesso spazio nello stesso tempo per opposte direzioni.

Gli osservatori di Villejuif udirono perfettamente tutt'i colpi di Montlherry; ciascuno di essi notava sul suo cronometro il tempo che passava tra l'apparir della luce ed il sentirsi del romore; la maggior differenza che trovasi tra i tre risultamenti di una stessa osservazione non giunge a 3 o 4 decimi di minuto secondo, e tra le 12 osservazioni la differenza delle medie non oltrepassa 3 decimi di minuto secondo; il maggiore intervallo fu di 55″, il minore di 54″, 7, ed il numero medio 54″, 81.

De' 12 colpi tirati da Villejuif solo 7 se ne intesero da Montlherry, e nessuno di questi sette fu inteso da tutti e tre gli osservatori. I risultamenti però sono assai concordi: il tempo più lungo fu di 54″, 9, il più breve di 53″, 9, ed il medio di 54″, 43.

Laonde 54″, 6 si può prendere pel tempo medio che il suono impiegava per passare da una stazione all'altra.

Rimaneva a conoscersi la precisa distanza tra le due stazioni. Il che fu affidato ad Arago, il quale per mezzo della triangolazione del meridiano trovò i due cannoni essere tra loro distanti per 9549, 6 tese.

Dividendo questa lunghezza per 54″, 6 durata media della propagazione, trovasi 174, 9 tese, ossia 340ᵐ, 88 per lo spazio dal suono percorso in 1″ nella notte del 21 giugno 1822, essendo la temperatura a 16° C: il barometro segnava a Villejuif 756ᵐᵐ, 5, e l'igrometro di Saussure 78°.

La velocità del suono dunque è di 340ᵐ, 88 alla temperatura di 16°.

Riducendo col calcolo che insegneremo appresso questa velocità per aver quella corrispondente alla temperatura di 10°, si ha 337ᵐ, 28, e 331, 12 per la temperatura 0°.

CAPO II.

ESTIMAZIONE NUMERICA DE' SUONI PER MEZZO DELLE VIBRAZIONI DELLE CORDE, DELLE CANNE CILINDRICHE, DELLE LAMINE, DELLA SIRENA E DELLE RUOTE DENTATE.

330. *Leggi generali delle vibrazioni delle corde e de' suoni armonici da essi generati.* Toccando una corda tesa sopra qualunque istrumento, come sopra un' arpa o chitarra, le vibrazioni saranno tanto rapide da non poter esser numerate: si possono però distinguere assai bene due notevoli fenomeni: primamente il suono si *eleva* e diventa più acuto col far la corda più corta o più tesa; e di più il numero delle vibrazioni sensibilmente si accresce. Vi deve essere dunque una connessione tra il suono della corda, la lunghezza e lo stiramento della medesima, e la rapidità delle sue vibrazioni: ma questa connessione che tanto agevolmente si ravvisa con l'esperienza deve essere per mezzo del calcolo determinata; nel che consiste ciò che in meccanica si chiama *problema delle corde vibranti*, il quale fu la prima volta risoluto da Taylor (*Methodus incrementorum etc.*, 1716), e menò molto romore, perciocchè destò per circa mezzo secolo calde dispute tra i più chiari geometri. Giovanni Bernouilli, d'Alembert, Eulero e Daniele Bernoullli avevano molto scritto sopra questo argomento, quando Lagrangia nel 1759, quasi al cominciamento della sua carriera scientifica, ebbe la gloria di togliere tutte le difficoltà e di dar termine alla disputa.

Ecco i risultamenti cui si perviene per mezzo del calcolo, i quali esprimono le leggi delle vibrazioni delle corde:

1° *I numeri delle vibrazioni di una corda*

sono in ragion reciproca di sua lunghezza: cioè che se una qualsivoglia corda sonora sia tesa sopra uno strumento, quale sarebbe il violino, il violoncello, la chitarra, ec., e faccia in un dato tempo un numero di vibrazioni che sia preso per unità quando vibri in tutta la sua lunghezza, farà nello stesso tempo vibrazioni espresse da 2, 3, 4, allorchè *la tensione restondo la stessa*, si facciano vibrare solo $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, ec. di sua lunghezza; il numero delle vibrazioni poi sarebbe espresso da $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{5}{4}$ ec. se si facesser vibrare solo $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, ec. della lunghezza. Per ridurre la parte vibrante, basterà fare andare un piccol ponticello sul quale la corda leggermente si preme col dito.

2° ***I numeri delle vibrazioni di una corda sono proporzionali alle radici quadrate de' pesi che la tendono:*** se si prende cioè per 1 il numero delle vibrazioni di una corda tirata da un peso 1, affinchè il numero delle vibrazioni nello stesso tempo diventi 2. 3, 4, ec. rimanendo invariata la lunghezza, dovranno tenderla dei pesi 4, 9, 16, ec.

3°. ***I numeri delle vibrazioni delle corde della stessa materia sono tra loro in ragione inversa della loro grossezza ossia dei loro diametri:*** se si prendano cioè due corde di rame o di acciajo come quelle da gravicembalo, l'una delle quali abbia per esempio il diametro doppio dell'altra, e si tendano col medesimo peso facendone vibrare due di eguali lunghezze, la più piccola farà nello stesso tempo un doppio numero di vibrazioni della più grande. Le corde di budella non seguirebbero forse perfettamente la soprindicata legge, perocchè non si può mai esser certo che esse siano all'intutto della stessa materia.

4°. ***I numeri delle vibrazioni delle corde di diversa materia sono tra loro in ragione inversa delle radici quadrate della loro densità:*** prendendo cioè una corda di rame la cui densità è quasi 9 ed un'altra di budello la cui densità è quasi 1, supponendule dello stesso diametro, tese da pesi eguali, e vibranti in eguali lunghezze, il numero delle vibrazioni della corda di rame sarà tre volte minore di quello della corda di budello. È chiaro poi che le antecedenti leggi debbano solo valere per le corde omogenee nella loro lunghezza e nel loro diametro, e però non essere affatto applicabili alle corde di budello rivestite di un filo metallico come sono quelle che si adoperano per l'arpa e per le quarte dei violini e violoncelli. Il metallo che fa da invoglio in questo caso è una materia incerta che deve essere trasportata dalla elasticità della corda, il che aumenta la durata delle vibrazioni.

Posti questi principî, agevole riuscirà l'esprimere i suoni per via di numeri. Adoperasi per questo uno strumento che dà de' suoni puri e ne dà agio di poter misurare con giustezza la lunghezza delle corde. Questo strumento si chiama *tonometro* o *monocordo* (1), al quale sogliónsi dare forme diverse. Supporremo che si faccia uso di quello del Savart espresso dalla figura 31, sul quale va messa una corda di metallo ed un'altra di budello per far vedere che tanto sull'una quanto sull'altra gli effetti sono gli stessi. La corda è legata ad un uncino *c*, passa sopra i ponticelli *f* ed *h* sopra una girella mobile, e si unisce ad un altro uncino *d* cui si sospende il peso *p*. Il ponticello mobile *h* può strisciare sotto la corda senza toccarla, si ferma ove si vuole, e per ridurre a quel che ne piace la lunghezza della corda basta chiudere la vite di pressione di esso ponticello (2). Ci verrà in acconcio di avvertire appresso, la cassa *ss'* essere utile ad invigorire il suono. Supponghiamo ora che la corda sia convenientemente caricata per dare un suono pieno e puro vibrando a vuoto, che questo suono si prenda per punto di partenza ossia pel *do*, e che si trasporti a mano a mano il ponticello per avere gli altri tuoni della zolfa *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do*: prendendo la intera lunghezza della corda per unità, si troverauno per le altre note le lunghezze seguenti:

Nomi dei tuoni	do	re	mi	fa	sol	la	si	do
Lunghezza delle corde	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$.

Ma i numeri delle vibrazioni di una corda essendo in ragiou reciproca della lunghezza, ne segue prendendo per 1 il numero delle vibrazioni del *do*, si debba avere:

Nomi de'tuoni	do	re	mi	fa	sol	la	si	do
Numero delle vibrazioni	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2.

(1) Il nostro concittadino Paolo Anania de Luca ha migliorato questo strumento e lo ha chiamato *cordometro*, perchè serve a misurare la quantità di corda, a differenza del tonometro da lui inventato il quale serve a fare acquistare una chiara idea delle corrispondenti quantità di tuono. Veggasi la sua Memoria inserita nel t. XX delle Memorie della Società italiana delle Scienze 1830.

(2) Più acconcio ci pare il meccanismo che abbiam veduto nel cordometro del signor de Luca.

Si sa che l' *intervallo* da *do* a *re* chiamasi *seconda*; da do a *mi*, *terza*; da do a *fa*, *quarta*; da do a *sol*, *quinta*; da do a *la*, *sesta*; da do a *si*, *settima*; da *do* a *do*, *ottava*, ec. Laonde quando due tuoni formano un' ottava, il numero dalle vibrazioni del più alto è doppio di quello del più basso; per la *terza* il più basso fa 4 vibrazioni nel tempo in cui il più alto ne fa 5; per la *quarta* il più basso 3 ed il più alto 4; per la *quinta* il più basso 2 ed il più alto 3, ec. Cotesta ragione è invariabile, l' orecchio non vi tollera alcun cambiamento: se si voglia cioè che due suoni sieno in accordo di ottava, è forza assolutamente che il numero delle vibrazioni del più alto diviso per quello del più basso dia per quoziente 2, e del pari che dia $\frac{3}{2}$ per la quinta, ec. Onde essendo $\frac{9}{8}$ il numero delle vibrazioni del *re*, la sua *ottava acuta*, sarà $\frac{9}{8}\times 2 = \frac{9}{4}$, e la *ottava bassa* sarà $\frac{9}{8} : 2 = \frac{9}{16}$, ec.; la sua terza $\frac{9}{8} \times \frac{5}{4} = \frac{45}{32}$; la sua quinta $\frac{9}{8} \times \frac{3}{2} = \frac{27}{16}$ ec; e per contro il *re* ed il *sol* formano una quarta, perciocchè la ragione del *sol* al *re* è $\frac{3}{2} : \frac{9}{8} = \frac{3}{2} \times \frac{8}{9} = \frac{4}{3}$ che è la ragione della quarta, nell' atto che il *re* ed il *la* non formano una quinta, perocchè la ragion del *la* al *re* è $\frac{5}{3} : \frac{9}{8} = \frac{5}{3} \times \frac{8}{9} = \frac{40}{27}$ che non fanno $\frac{3}{2}$ come sarebbe mestieri per aver la quinta, ec.

Dopo ciò agevole sarà scrivere quante ottave si voglia *sopra* o *sotto* alla precedente: perocchè moltiplicando tutt' i numeri di questa per 2, per $2^2 = 4$, per $2^3 = 8$, ec. si avranno sussecutivamente la 1ª, la 2ª, la 3ª ottava *sopra*; e moltiplicando per $\frac{1}{2}$, per $\frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$, per $\frac{1}{2^3} = \frac{1}{8}$, ec. si avrà la 1ª, la 2ª, la 3ª ottava *sotto*, ec.

Non sono questi i soli tuoni di cui giovasi la musica; si fa anche uso de' *diesis* e de' *bemolli*. Ma non riuscirà difficile il rendersi certo per mezzo del monocordo, che per portare un tuono a *diesis* si deve moltiplicare il numero delle sue vibrazioni per $\frac{25}{24}$, e moltiplicarlo per $\frac{24}{25}$ per ridurlo a bemolle. Per la qual cosa in quella che il *do* fa per esempio 24 vibrazioni, il *do diesis* ne fa 25; e mentre il *si* ne fa 25, il *si bemolle* ne fa 24.

Quando due tuoni si avvicinano talmente all' unisono che l' uno di essi faccia 80 vibrazioni nell' atto che l' altro ne fa 81, e però il loro *intervallo* o la loro *ragione* sia di $\frac{80}{81}$, si dice che differiscono per un sol *comma*. L' orecchio molto esercitato discerne benissimo cotal differenza.

Allorchè due tuoni che siano in accordo di *ottava*, di *terza*, o di *quinta* si facciano insieme suonare, essi formeranno una *consonanza*, ovvero un *accordo*; e per contro la *seconda*, o la *settima* formano la dissonanza.

I tuoni armonici son quelli che seguono la serie de' numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5, ec.; il 2.° è l'*ottava* del 1°; il 3.° n'è la *dodicesima* ovvero la *doppia quinta*; il 4.° la *doppia ottava*; il 5.° la *diciassettesima* ossia la *triplice terza*, ec.; e perciò essi non generano mai dissonanza. Per tal ragione senza dubbio sonosi da lungo tempo chiamati suoni armonici; ma un notevole fenomeno è l'esistenza simultanea di tutti questi suoni nelle vibrazioni di una stessa corda. E per fermo se una corda di violino o pure di violoncello si tocchi con l'arco, non si ascolterà solo il *tuono fondamentale* di questa corda, quello cioè che genera vibrando in tutta la sua lunghezza, ma si ascolta anche il tuono 3 ovvero la sua dodicesima, ed il tuono 5 ossia la sua diciassettesima; e v'ha di quelli che affermano potersi discernere il tuono 6 ossia la diciannovesima. La seguente sperienza fu fatta la prima volta dal signor Sauveur. Nel mezzo della corda del monocordo si pone il ponticello mobile sul quale si preme molto leggiermente col dito mentre l'arco passa sulla corda presso al ponticello fisso per iscuoterne una metà; mentre questa si scuote, anche nell'altra metà si hanno vibrazioni assai sensibili, del che ognuno si potrà rendere certo ponendo sopra i diversi punti della medesima dei pezzettini di carta i quali si vedranno spinti lungi da essa. La maniera onde si conforma in questo caso la corda, è dinotata dalla figura 35. Si può indi porre il ponticello mobile alla fine del primo terzo della corda; ed allora facendo suonare questa parte toccandola con l arco, anche gli altri due terzi renderanno le loro vibrazioni, ma ognuno separatamente intorno al punto *n*, il quale si terrà fermo tuttocchè libero (*fig.* 36). Il che rendesi aperto ponendo anche de' pezzettini di carta in *v*, in *n* ed in *v'*. Quelli posti in *v* e *v'* si vedranno prima saltellare e poi tosto cadere, mentre l'altro in *n* si terrà immo-

bile. Il punto *n* si denomina *nodo* e *ventri* i punti *v* e *v'*.

L'esperienza riesce del pari ponendo il ponticello alla fine del primo quarto, del primo quinto o del primo sesto della corda; vi saranno allora 2, 3 o 4 nodi sopra i quali i pezzettini di carta si terranno immobili, nell'atto che si vedranno nel mezzo di ciascun ventre saltellare.

Sauveur parte da questo fatto singolare che una corda sonora presa per intero non vibra solo in tutta la sua lunghezza, ma che anche ogni sua metà, ogni sua terza, quarta, quinta, sesta parte, ec. vibra separatamente e genera i tuoni corrispondenti a siffatte lunghezze, e questa è la cagione donde si generano i tuoni armonici; e per fermo, se la metà della corda (*fig.* 37) oscilli tra *h* ed *h''* quando la corda fa le sue vibrazioni per intero, questo moto non impedisce che ciascuna delle metà esegua le sue vibrazioni intorno ad essa come se fosse in riposo; dicasi lo stesso de' nodi corrispondenti a ciascuna terza, quarta parte, ec.

331. *Leggi generali delle vibrazioni delle canne cilindriche e del battimento che da due suoni vicini deriva.* Le canne sonore, quali sono quelle degli organi, sono generalmente fatte come un fischio o zufolo. Si suol distinguere il *piede*, la *bocca*, e la *canna* propriamente detta: il *piede* reca il *vento*, la *bocca* fa *parlare*, la *canna* contiene la colonna d'aria dalle cui vibrazioni si genera il suono. Nella canna di organo (*fig.* 45, 46, 47, 48 e 49) il piede è cavo e l'apertura *l* che arreca il vento è una specie di fessura fatta nella lamina che chiude la maggior base del piede; la bocca *bb'* è più o meno aperta, il labbro superiore cioè trovasi più o meno allontanato; talvolta esso è mobile per allontanarsi od accostarsi a piacimento (*fig.* 50).

Per dar il vento alle canne nelle sperienze di questo genere, si adopera un mantice comune *ss'* (*fig.* 38) il quale si gonfia mercè il pedale *p*; il piccolo meato *ff'* reca l'aria nella cassa *cc'*, la cui tavola superiore è forata da dodici buchi *oo*, i quali sono chiusi da piccole animelle elastiche che per mezzo de' tasti *hh'* a piacimento si possono aprire.

Posta a suo luogo una canna e gonfiato il mantice, si tocca il tasto, e si dà fiato col mantice premendo più o men forte l'asta *tt'*.

Supponiamo da prima che la canna sia aperta e che abbia in tutta la sua lunghezza lo stesso diametro; dandole il vento con più o meno forza, e variandone se l'uopo il richiede la lunghezza della bocca, si giungerà a farle fare diversi tuoni; di modo che esprimendo con 1 il tuono fondamentale, cioè il più basso, che aver si possa, gli altri andranno secondo la serie de' numevi naturali 1, 2, 3, 4, ec., nè per qualunque mezzo si giungerà ad avere qualsivoglia altro tuono compreso tra essi.

Tutte le canne cilindriche o prismatiche della stessa lunghezza daranno lo stesso *tuono fondamentale* e la stessa serie 2, 3, 4, ec. purchè la loro lunghezza sia per 10 o 12 volte il loro diametro, e la materia onde sono formate sia bastantemente rigida; ma se le canne saranno assai strette, andranno quasi sempre all'ottava, cioè daranno sempre il tuono 2 ed i seguenti, e riuscirà assai difficile di ricavarne il fondamentale.

Quando la canna genera il tuono 2, si può tagliare per metà togliendone la parte di sopra senza che il tuono soffra alcuna alterazione: in simil guisa se genera il tuono 3, si potrà dividere in tre parti eguali e levarne uno o due terzi dalla parte di sopra, ec.

Laonde per lo tuono 2 v' ha un *ventre* nel mezzo della lunghezza della canna: ciò vuol dinotare che la falda d'aria che ivi si trova mentre si compiono le vibrazioni sonore, non è nè rarefatta nè condensata; imperciocchè se a qualche cambiamento di densità andasse soggetta, non si potrebbe in questo punto fare alcuna apertura senza ingenerare un' alterazione nel tuono, e molto meno si potrebbe togliere la metà superiore della canna. Per lo tuono 3 vi sono due *ventri intermedi*, l'uno nella fine del primo, e l'altro alla fine del secondo terzo della lunghezza; perocchè facendo in questi punti (*fig.* 50) delle aperture, non si arrecherà alcuna mutazione al tuono, il che non accade forando la canna in altri punti diversi. Vi sono tre ventri intermedj pel tuono 4; 4 pel tuono 5, ec.

Siam debitori a Daniele Bernouilli di queste sperienze e di tutta la teoria degli strumenti da fiato (*Acad. des Sciences* 1762), quasi nella stessa guisa in cui ora si trova; dalla quale si conclude l'onda sonora che corrisponde al tuono fondamentale di una canna esser lunga precisamente quanto questa, quella corrispondente al tuono 2 esser lunga per metà, quella del tuono 3 essere $\frac{1}{3}$; qnella del tuono 4, $\frac{1}{4}$, ec. poichè gli estremi aperti dalla canna esser debbono sicuramente dei ventri in cui l'aria non potrà essere nè condensata nè rarefatta comunicando con l'aria esterna, e si sa l'intervallo tra due ventri essere appunto la lunghezza della corda.

Diversa è la legge delle vibrazioni per le

canne chiuse: ce ne possiamo rendere certi per mezzo di un tubo di vetro di circa 30 pollici di lunghezza e di un pollice di diametro (*fig.* 43) nel quale si fa scorrere uno stantuffo *p* mercè un'asta *t*. Dopo di avere accomodato il tubo in una conveniente imboccatura, si dispone sul mantice, e facendo passare la corrente d'aria da prima lentamente, se ne otterrà il tuono fondamentale che esprimeremo con 1; una corrente alquanto più forte farà uscire il tuono 3; e coll'aumentare sempre più la forza della corrente, operando una pressione maggiore, si udiranno successivamente i tuoni 5, 7, 9, ec.; laonde una canna chiusa di costante lunghezza dà diversi tuoni secondo la serie dei numeri caffi 1, 3, 5, 7, ec. senza che si possa farne uscire alcuno degl' intermedi.

A questa legge si deve aggiungere anche il seguente fatto degno di attenzione, cioè che il tuono fondamentale di una canna aperta e quello di un'altra chiusa della stessa lunghezza son sempre in accordo di ottava, la chiusa dando il tuono basso ossia 1, e l'aperta l'acuto ovvero 2; il che può essere agevolmente con l'esperienza verificato. Siccome l'onda del tuono fondamentale in una canna aperta corrisponde precisamente alla lunghezza di questa, così segue che l'onda del tuono fondamentale della canna chiusa abbia una lunghezza doppia di quella della canna. Daniele Bernouilli rende ragione di questo fatto supponendo che il moto del suono si rifletta nel fondo della canna e ritorni verso l'imboccatura; questa ipotesi fa intendere perchè il tuono 3 sia il primo che succeder possa al tuono fondamentale; imperciocchè se la lunghezza della canna si divida in tre parti eguali *et*, *tt'*, *t'f* (*fig.* 44), le due prime terze parti *et'* si potranno considerare come una canna aperta vibrante all'unisono della canna chiusa *ft'* dell'ultima terza parte, il cui tuono è appunto 3, essendochè *et'* è la terza parte della lunghezza della canna aperta che darebbe il tuono fondamentale, e *t'f* è anche la terza parte della canna chiusa *ef*. Se è così, il secondo tuono del tubo chiuso *ef* deve essere lo stesso tuono fondamentale di una canna chiusa lunga quanto *t'f* ovvero *et*; ed in fatti facendo entrare lo stantuffo fino a *t*, si avrà perfettamente il secondo tuono che aveasi quando lo stantuffo era in *f*. Segue dunque da ciò che nel tempo delle vibrazioni che generano il secondo tuono, la falda d'aria *t* rimane come se ivi fosse un fondo fisso, cioè che non vibra punto; essa allora costituisce ciò che si dice *nodo*, perocchè resta veramente immobile. Laonde per lo secondo tuono di una canna chiusa vi sono due *ventri* nella lunghezza della medesima e due *nodi*; il primo ventre trovasi all' imboccatura *e*, il secondo ai due terzi della lunghezza cioè in *t'*, ed il primo nodo trovasi al primo terzo in *t*, il secondo nel fondo della canna in *f*.

Per lo terzo tuono che è 5 vi son tre ventri e 3 nodi: il primo ventre è sempre alla imboccatura, il secondo a' $\frac{2}{5}$ ed il terzo a' $\frac{4}{5}$; il primo nodo poi ad $\frac{1}{5}$, il secondo a $\frac{3}{5}$ ed il terzo a $\frac{5}{5}$ cioè al fondo della canna.

Parimenti pel tuono 7 vi saranno 4 ventri e 4 nodi; 5 ventri e 5 nodi per lo suono 9, ec.

Si può con l'esperienza verificare il luogo e l'esistenza di tutti i ventri e nodi corrispondenti a ciascun tuono; per la qual cosa facendo de'buchi ne'punti corrispondenti a' ventri (*fig.* 50) il tuono non si cambierà, e potendo mercè l'asta *t* (*fig.* 43) spingere lo stantuffo *p* portandolo ne' punti appartenenti a nodi, si vedrà il tuono rimanere per tutte queste giaciture perfettamente inalterato.

Dalle cose dette finora segue, che per comporre una solfa di canne aperte o chiuse dalle quali si abbiano solo i tuoni fondamentali, basterà prendere 7 canne aperte le cui lunghezze siano tra loro nella ragione de' numeri 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{8}{15}$, $\frac{1}{2}$, ovvero 7 canne chiuse, le lunghezze delle quali serbino fra loro la ragion medesima. Ma l'esperienza in questo caso abberra dalla teoria, perocchè da canne chiuse di lunghezza perfettamente corrispondenti agl'indicati numeri si avrebbe una falsa solfa, il che deriva dagl'intrigati movimenti che l'aria soffre presso le imboccature, e però si avrà la solfa composta di tuoni perfettamente giusti alterando per poco l'antecedente proporzione.

Se facciansi insieme suonare due canne, le quali diano due tuoni molto vicini come per esempio il *do* ed il *do diesis*, si sente di quando in quando un sensibilissimo gonfiamento nel suono, fenomeno conosciuto dagli organisti col nome di *battimento*. Sauveur fu il primo a darne ragione. Quando noi ascoltiamo nello stesso tempo due suoni uno de' quali faccia 24 vibrazioni mentre l'altro ne fa 25, è chiaro che ad ogni 24ª vibrazione del primo o ad ogni 25ª del secondo, le onde sonore ricominceranno insieme, e colpiranno per allora nello stesso momento il nostro orecchio, dalla quale coincidenza nascer deve il battimento. Laondo

quanto più i tuoni son tra loro diversi, tanto più frequenti esser debbono i battimenti, e per contro sono meno frequenti quando i tuoni sono più vicini. Cotesto fenomeno raramente si avverte tra i suoni delle corde, perciocchè questi generalmente son meno intensi; ciò non per tanto Rameau ne riconobbe l'esistenza, ed è noto come se ne giovasse per fondare un sistema di musica di cui ora più non si fa motto.

332. *Leggi delle vibrazioni delle lamine e delle verghe.* Una lamina o verga fermata stabilmente in uno de' suoi estremi (*fig.* 33) e stroppicciata con un archetto, o semplicemente con la mano rimossa dalla primiera giacitura, eseguirà tra *l* ed *l'* una serie di vibrazioni isocrone, le quali se avranno sufficiente rapidità, saranno vere vibrazioni sonore. La legge di tali vibrazioni fu da Daniele Bernouilli teoricamente determinata: egli dimostrò che per una stessa lamina cui si diano successivamente diverse lunghezze vibranti, i numeri delle vibrazioni fatte nello stesso tempo sono tra loro in ragione inversa de' quadrati di queste lunghezze.

333. *Leggi delle vibrazioni della sirena.* Questo strumento immaginato dal signor Cagniard de la Tour è disposto come segue:

tt' ff' (*fig.* 40), scatola cilindrica di rame del diametro di due o tre pollici circa ed un pollice di altezza; la superficie superiore della tavola *tt'* è piana e ben levigata.

ss' apertura fatta nel mezzo del fondo *ff'*

yy' tubo che porta il vento, il quale s'investa o si adatta nell'apertura *ss'*.

r, buchi fatti nella tavola *tt'* ; essi son disposti circolarmente ed equidistanti tra loro (*fig.* 41); se ne possono fare 10, per esempio di modo che gl' intervalli pieni che separano l' un buco dall' altro siano alquanto maggiori de' buchi medesimi.

pp' piatto mobile la cui superficie inferiore si adatta perfettamente sulla tavola, senza che si generi però molto attrito.

x, asse intorno al quale il piatto *pp'* può più o meno rapidamente girare.

u, buchi fatti sul piatto *pp'*, corrispondenti perfettamente a quelli *r* della tavola, per rispetto al numero, alla giacitura ed alla scambievole distanza. In tal guisa i buchi della tavola si troveranno tutti aperti nello stesso tempo o tutti chiusi, secondo che la rotazione del piatto riduca sopra di essi i suoi buchi o gl' intervalli dei medesimi.

i, vite perpetua posta verso l' estremo superiore dell' asse di rotazione *x*:

rr' ruota con 100 denti che è mossa dalla vite perpetua.

cc' ruota *independente* la quale si volge di un dente per ogni rivoluzione della ruota *rr'*, mercè un braccinolo fermato sull'asse di questa il quale urtando quella la fa girare di un dente.

Gli assi di queste ruote corrispondono coi loro indici i quali girano sopra i quadranti graduati *d* e *d'* (*fig.* 39); quest' indici insieme con le ruote dalle quali son mossi formano il *computatore* della sirena. Il computatore si può fare camminare o star fermo a piacimento; per la qual cosa basterà premere il bottone *b* per far che la ruota si connetta con la vite perpetua, oppur *b'* per far che se ne stacchi, in quest'ultimo caso i denti di questa ruota vanno ad urtare contro un ostacolo dal quale la velocità acquistata rimane perfettamente distrutta.

È mestieri anche avvertire che i buchi del piatto sono inclinati ad ambe le superficie del medesimo (*fig.* 42) di modo che il vento che viene nella cassa possa dare al piatto un moto di rotazione sempre più rapido.

Ciò posto volendo intendere come la sirena serva per istrumento di acustica, figuriamoci per un momento che nella tavola vi sia un sol buco, 10 nel piatto. Allora nel tempo di una rivoluzione del piatto il buco della tavola sarà 10 volte aperto ed altrettante volte chiuso, e per conseguenza il passaggio dell'aria sarà 10 volte impedito ed altrettante aperto. Tutto questo accaderà in 1'', o in $\frac{1''}{10}$, o in $\frac{1''}{100}$, secondo che il piatto farà 1, 10 o 100 giri per ogni minuto secondo; e siccome l'aria spinta nel buco è in un subito trattenuta, dovrà in ogni alternativa accadere una vibrazione, e però si dovranno avere 20 vibrazioni per ogni giro del piatto, e quindi 20, 200 o 2000 vibrazioni per minuto secondo. Laonde la sirena dovrà dare de' suoni i quali a grado a grado, o per dir meglio per insensibili gradazioni divengono sempre più acuti, siccome dall'esperienza è dimostrato. Se ora invece di supporre un sol buco nella tavola ne supporremo 10, cioè lo stesso numero di quelli del piatto, si avrà solamente un suono 10 volte più intenso, perchè ogni buco darà il suo effetto come se fosse solo.

Il numero la forma e la grandezza de'buchi esercita sulla qualità (*timbre*) del suono un potere non ancora perfettamente noto in guisa da poterne discorrere: dicasi lo stesso qualora tra i buchi si lascino intervalli più o meno grandi; sebbene il signor Cagniard de la Tour dice che se gl'intervalli siano assai piccoli il suono della sirena si avvicina al suono della voce umana, e

che per contrario somiglia il suono della tromba qualora siano molto grandi. La grossezza della tavola finalmente e quella del piatto debbono anche dare al suono particolari qualità alle quali non ancora si è posto ben mente.

331. *Determinazione di un tuono fisso, ovvero dell'assoluto numero di vibrazioni che ad un dato tuono corrispondono.* — Si può diversamente conoscere il numero assoluto di vibrazioni che corrispondono a qualunque suono: una volta vi si giungeva mercè le leggi delle vibrazioni delle corde o lamine, ovvero mercè il battimento delle canne; ma ora vi si giunge in una maniera più diretta e più giusta per mezzo della sirena e delle ruote dentate.

Sirena. Per determinare con la sirena il numero delle vibrazioni che corrisponde, per esempio al *diapason*, di cui si fa uso per accordare gli strumenti di musica (1); basta mettere sulla tavola del manticello (*fig.* 38) una canna aperta o chiusa, il cui suono fondamentale sia all'unisono col diapason; indi allato di questa canna ponesi la sirena e si soffia il vento variando la pressione mercè l'asta *t*, finchè la sirena si riduca all'unisono con la vicina canna; ottenuto l'unisono si sostiene per qualche minuto, al che con un poco di esercizio facilmente si arriva; indi mentre i suoni si riproducono si preme ad un tempo il bottone del computatore della sirena per fare incastrare la ruota, ed il bottone di un buon cronometro per misurare il tempo; avendo sostenuto attentamente l'accordo per 2′ circa è mestieri fermare ad un tempo il computatore ed il cronometro. Così dal primo si ha il numero delle vibrazioni, ed il tempo trascorso dal secondo; e però si può agevolmente dedurre quante vibrazioni sonovi state in 1″. Ripetendo l'esperienza più volte si trovano gli stessi numeri da' quali risulta che il *la* del diapason comune corrisponde a 440 buchi del piatto che passa sopra un buco della tavola, ossia a 880 vibrazioni semplici in 1″, imperocchè per ogni buco che passa si ha doppia vibrazione composta cioè di un'onda condensata e di un'altra rarefatta.

Ruote dentate. — Siam debitori al signor Savart di questa nuova maniera di produrre i suoni e di calcolare il numero assoluto di vibrazioni (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. 44 e 47); le figure 58 e 59 rappresentano lo strumento da lui pensato per lo conseguimento di questo doppio scopo; *a* è un banco di legno querciuo solidissimo, che si rende ancora più stabile o fissandolo sul suolo o sostenendolo da diverse parti; *b* è una ruota di 1m, 80 di diametro, posta sopra un fortissimo asse *c*, e mossa con una manovella; *d* è un secondo asse ordinato a ricevere un velocissimo moto di rotazione dalla correggia *x* che passa sulla gran ruota o sopra una piccola carrucola dell'asse *d*, mentre la ruota fa un giro la carrucola per esempio ne fa 10, quindi se la ruota fa 4 giri per secondo, l'asse ne farà 40. L'asse *d* porta una ruota dentata di metallo *d′*, il numero de' denti della quale può essere 600, e quando si presenta un pezzo di carta all'urto successivo de' denti che passano con celerità, si possono ottenere 24000 urti in 1″; se ne possono avere più o meno regolando la velocità del moto, o ponendo sull'asse *d* diverse ruote con vario numero di denti. In tutti casi il suono che si ha è però continuo e distinto, e tanto più acuto per quanto maggiore è il numero degli urti che accadono nello stesso tempo; per la qual cosa agevole riuscirà di ridurre lo strumento all'unisono del diapason e di mantenerlo per quanto si vorrà. Ora l'urto dei denti contro il pezzo di carta produce un suono perchè la carta è posta in vibrazione; mentre il dente passa, la carta è spinta per un verso, poi per la sua elasticità ritorna dinanzi al dente che segue, in modo che vibra come una lamina o una corda, compiendo per ogni dente una doppia vibrazione, cioè una gita ed una tornata, o forse meglio un'onda condensata ed un'onda rarefatta. Sonovi dunque in 1″ tante doppie vibrazioni per quanti sono i denti che passano, e basta numerare questi per conoscere il numero di quelle. Perciò l'asse *d* porta una vite perpetua connessa con una ruota che fa da computatore, in modo simile a quella della sirena. Con esperienze assai giuste il signor Savart ha comprovato che il *la* del nostro diapason corrisponde a 880 vibrazioni semplici, siccome si era conosciuto con la sirena in una maniera meno agevole e sicura.

Conosciuto una volta il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un suono il cui posto ci sia noto nelle scale musicali, si può agevolmente conoscere il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un altro suono qualunque. Il *la* del diapason essendo un la_3, ed il *la* del violoncello un la_2, ne segue che questo fa 440 vibrazioni, il la_1 220, il la_{-1} 110, ed il la_{-2} solo 55, in modo che il do_{-1} ne fa 33.

La voce di uomo estendendosi generalmente da sol_1 a sol_4, e quella di donna da re_3 a do_5 è agevole l'intendere che i numeri delle vibrazioni nel 1° caso sono 396 e 1594, nel 2° 595 e 2112; sicchè l'organo della voce umana esegue 396 vibrazioni per secondo pe' tuoni musicali più gravi, e 2112 pei più acuti.

(1) Detto comunemente *corista*.

Del resto tutti questi risultamenti sono benanche rifermati dalle vibrazioni delle lamine, delle canne e delle corde: per le corde la teorica dà immediatamente il numero delle vibrazioni mercè la formola:

$$n^2 = \frac{gP}{4cl},$$

nella quale n dinota il numero delle vibrazioni in 1″, g la gravità ossia 9^m, 8088, p il peso da cui la corda è tirata, l la lunghezza e c il peso della medesima.

335. *Dell' assoluta lunghezza delle onde sonore.* — Per determinare l'assoluta lunghezza delle onde sonore in un mezzo qualunque basterà conoscere la velocità onde il suono in questo mezzo si propaga ed il numero delle vibrazioni da cui è generato. Nell'aria per esempio la velocità del suono essendo di 340 metri per ogni minuto secondo, segue che un suono nascendo da 340 vibrazioni per ogni minuto secondo, avrebbe le ondulazioni lunghe un metro; perocchè ogni vibrazione genera un'onda, e le 340 ondulazioni destate in 1″ occupano appunto 340 metri di lunghezza. Può dunque generalmente aversi per fermo che la lunghezza di un' onda dev' essere espressa dal quoziente che si ha dividendo la velocità del suono per lo numero delle vibrazioni. E però la lunghezza dell'onda del *do* è di 340 metri diviso per 33 ossia di 10 metri ed un terzo: questo è il suono più grave che s'abbia in musica, ed è dato dal grosso bordone dell' organo, ch'è una canna chiusa lunga 16 piedi la quale dà un'ondulazione di 32 piedi senza il tremito che si genera alla imboccatura.

336. *Del limite de' suoni percettibili.* — Da lungo tempo erasi creduto che il suono corrispondente a 32 vibrazioni semplici fosse il più grave che orecchio umano ascoltare potesse; ma il signor Savart ha fatto vedere che la sensibilità dell' organo dell' udito erasi studiata partendo da dati incertissimi, e con una serie di notevolissime sperienze ha mostrato la via che conviene tenere per iscioglière questa importante quistione (*Ann. da Phys. et de Chim.* t. 44 e 47). Pe' suoni gravi egli ha sostituito alla ruota dentata della figura 59 una semplice verga di ferro o di legno espressa dalla figura 58; ed ha fatto vedere che sul banco dell'apparecchio ordinando delle tavolette di legno formando una maniera di quadrato, nel quale passa la verga durante il suo moto, ad ogni passaggio si ha un rumore di una intensione grandissima, la quale sembra conseguire il suo massimo quando la verga passando nel quadro ne rade gli orli alla distanza di 1 in 2 millimetri. Da prima le vibrazioni sono distinte e successive fintantoche il moto della verga è assai lento; ma tosto che riceve una certa velocità da fare 7 in 8 urti o meglio 7 in 8 passaggi per minuto secondo il suono diventa perfettamente continuo, di una notevolissima forza e gravità. Laonde l'orecchio umano discerne distintamente de' suoni gravi corrispondenti a 14 in 15 vibrazioni semplici per secondo; imperciocchè in ogni passaggio si ha una vibrazione doppia, cioè un'onda condestata ed un'onda rarefatta. Per trovar poi il limite de'suoni acuti, il signor Savart ha sostituito, per contro, alla verga una gran ruota dentata, la quale ha fino 720 denti in modo da far passare 24000 denti per secondo, it che dà 48000 vibrazioni semplici, e pure questo suono oltremodo acuto è ancora percettibile; il nostro udito dunque è fatto con tale maravigliosa delicatezza che può udire e distinguere gli uni dagli altri tutti i suoni che si trovano compresi tra 15 e 48000 vibrazioni per secondo. Nè ancora si può dire che questi siano i veri termini della sua sensibilità: noi siam di credere insieme col signo Savart che oltre di questi termini vi siano de'suoni che sarebbero sentiti se avessero una maggiore intensione.

CAPO III.

VIBRAZIONI DE' CORPI SOLIDI.

337. *Vibrazioni de' corpi, due dimensioni de' quali sian picciolissime per rispetto alla terza. Canne, verghe cilindriche, verghe prismatiche, ec.* — Abbiamo altrove osservato che le lamine, i fili o cilindri possono soffrire delle rapide vibrazioni ed eccitare delle onde sonore allorchè vengono scossi perpendicolarmente al loro asse; queste vibrazioni soggette a leggi molto semplici *vibrazioni trasversali* sono appellate. Noi ora ci faremo a considerare le *vibrazioni longitudinali*, cioè quelle che possonsi eccitare ne' tubi, verghe, corde, ec. imprimendo alle molecole de' medesimi velocità parallele all'asse.

Supponiamo per esempio che prendasi un tubo di vetro di circa due metri di lunghezza, e di 3 o 4 centimetri di diametro, e che tenendo con la mano giusto nel mezzo, si produca con l'altra mano sopra una delle metà dello stesso un leggiero sfregamento con un pezzetto di stoffa bagnata; tosto si udirà un suono il quale con un poco di esercizio potrà rendersi molto chiaro e spiccato. Le vibrazioni in tal modo generate sono certamente longitudinali. Strofinando sempre della stessa guisa con moto

di va e vieni, ma con maggiore o minore velocità, e più o meno premendo, si potrà far nascere una serie di tuoni diversi, e se esprimasi con 1 il primo tuono della serie, sarà facile l'accertarsi che gli altri sono espressi dalla serie dei numeri naturali 2, 3, 4, ec. Sarà mestieri di molto esercizio e destrezza per far nascere il tuono 4 quante volte il tubo abbia due metri di lunghezza.

Si avranno gli stessi risultamenti adoperando lamine prismatiche o cilindri di vetro, come pure tubi, lamine e cilindri di legno o di metallo. Se non che per questi ultimi gioverà sovente adoperare un'altra maniera più comoda per metterli in vibrazione: invece di strofinarli con la stoffa bagnata, si potrà la stessa spalmare di resina, o anche meglio si potranno fermare ad uno degli estremi con mastice o cera di Spagna dei cilindri o lamine, ed al prolungamento del loro asse un piccol tubo di vetro vuoto o pieno, di circa un decimetro di lunghezza, e di 5 o 6 millimetri di diametro; allora questo tubo ausiliario essendo toccato dalla stoffa bagnata, le vibrazioni agevolmente si propagheranno.

Laonde quando le verghe dirette sono sostenute nel mezzo e libere ai loro estremi, vibrano come le canne aperte, e *danno de' tuoni che seguono la serie dei numeri naturali* 1, 2, 3, 4, ec.

È agevole il rendersi certo mercè l'esperienza, che le verghe della stessa materia son sempre all'unisono col loro tuono fondamentale quando hanno la stessa lunghezza, sia quale si voglia la larghezza o la grossezza delle medesime; purchè però queste due dimensioni restin molto piccole per rispetto alla terza. Onde tutte le verghe lunghe sei piedi daranno lo stesso tuono sian grosse sian sottili, lavorate in lamine, tubi e cilindri. Ma, ad eguali lunghezze, verghe di diversa materia daranno tuoni anche diversi.

Mentre questi corpi solidi sono in vibrazione, il moto assai disuguale si distribuisce in tutte le loro molecole; la maggior parte tra esse fanno delle corse più meno grandi, e ve n'ha benanche un piccol numero di quelle che si tengon sempre ferme. La serie de' punti di quiete forma sulla superficie delle linee le quali *linee nodali* si addimandano; e noi faremo vedere, seguendo le ingegnose idee del signor Savart, che nelle vibrazioni di cui si parla le linee nodali segnano intorno a' tubi o cilindri delle curve pressochè simili alle eliche o filuzzi di una vite, e che anche le curve più irregolari che segnano intorno alle lamine prismatiche somigliano ad eliche più o meno imperfette.

Supponghiamo da prima che si facciano l'esperienze sopra un tubo di vetro dal quale si cava il suono fondamentale soltanto; questo tubo si tiene quasi orizzontale; sopra quella delle sue metà che non è strofinata col drappo bagnato si passa un anello di carta molto leggiero (*fig.* 80) e di grande diametro, e, se ne osservano i moti: in quello che il suono si fa udire, l'anello incomincia a scorrere velocemente sulla superficie del tubo, e finalmente si ferma in un certo punto al quale incessantemente ritorna qualora ne sia rimosso; questo ponto si segni con l'inchiostro, è chiaro che il medesimo appartiene alla linea nodale. Indi si fa alquanto girare il tubo nella mano affiochè venga al di sopra un'altra parte, e si ricominciano le vibrazioni; tosto l'anello si porrà in moto e poi si fermerà segnando un altro punto della linea nodale, il quale si potrà notare come il primo. Continuando così a poco a poco a volgere il tubo nel verso medesimo, si potranno l'un dopo l'altro segnare tutt' i punti della linea nodale. Questo è quello che abbiam procurato di significare nelle figure 80 e 81. Rivolgendo il tubo per porre l'anello sull'altra metà del medesimo, vi si troverà una curva del tutto simile con questa notevole circostanza che l'una di queste curve non è continuazione dell'altra, ma entrambe sembrano partite dalla metà e girare per lo stesso verso; ovvero in contrario; e talvolta questo rovesciamento si appalesa sopra ciascuna metà dell'asta.

La interna superficie del tubo presenta una linea nodale del tutto simile a quella che abbiamo segnata sulla superficie esterna. Savart per renderne sensibile la traccia, pone nel tubo bene asciutto un poco di arena i cui granelli sian del pari asciuttissimi ed alquanto grandi, ovvero una piccola pallina di midollo di sambuco o di cera.

Se invece di tirare da un tubo il tuono fondamentale, se ne facciano uscire i tuoni 2, 3 o 4, si troveranno ancora delle linee nodali analoghe alle antecedenti; se non che si han sempre 2, 3 o 4 inversioni nella direzione dell'elica.

Le linee nodali delle verghe prismatiche sono più intrigate, ma quelle delle striscie, lunghissime e molto sottili, come delle strisce di vetro da specchio 2 o 3 metri lunghe, 3 in 4 centimetri larghe, presentano una considerabile opposizione: dopo di aver conosciuto le linee nodali di una faccia, rivolgendo la lamina si ottengono sull'altra faccia de' nodi, i quali corrispondono perfettamente a' ventri della prima. (*fig.* 69).

La cagione di tali fenomeni è stata per lungo tempo sconosciuta, ma è stata non ha guari

scoperta dal signor Savart il quale per tal modo ha dato alla teorica dell'acustica un fondamento che le mancava; noi qui ci adopereremo di porger solo un'immagine della sua Memoria da lui stesso nel seguente modo compendiata (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. 65).

« *Primieramente*. Le linee nodali indicate con la sabbia o con qualunque altro mezzo sulle facce de'corpi, che eseguono delle vibrazioni longitudinali, sono generate da alternative inflessioni nascenti periodicamente dalle contrazioni longitudinali e che scompariscono ad ogni dilatazione. Queste periodiche inflessioni formano una particolar maniera di moto normale che si compone di semivibrazioni, il cui numero è sempre eguale a quello delle vibrazioni longitudinali medesime e che sono contraddistinte da un'alterna disposizione di linee nodali, il cui intervallo sopra le due opposite facce è lo stesso che quello delle linee di quiete del solito moto trasversale, il quale darebbe il medesimo suono. Nel luogo in cui queste accadono ingenerano un moto molecolare sempre parallelo alle facce ed alle punte delle verghe, ma che è diretto per versi contrarj dall'una e dall'altra parte delle linee di quiete. Per la qual cosa vibrando una verga longitudinalmente, essa in prima è la sede di un moto di contrazione e di allungamento simile a quello delle colonne di aria che risuonano nelle canne, poscia di un moto di flessione trasversale simile a quello improvvisamente generato in una verga compressa secondo la sua lunghezza, ed in fine di un moto molecolare, il quale è alternativamente contrario dall'una parte e dall'altra di ciascun punto d'inflessione.

« *Secondariamente*. Le qualità de' sistemi nodali dalla forma delle verghe particolarmente derivano, e poi dalla corrispondenza delle loro dimensioni trasversali fra esse e rispetto alla lunghezza. I quali sistemi sono assai svariati, anche per le più semplici forme, quando cioè la sezione delle verghe è quadrata o circolare, ne' quali casi solamente si può determinare il numero e prevedere l'aspetto che possono presentare. Questi sistemi sono generalmente composti di linee nodali elicoidali che girano o per lo stesso verso dall'un capo all'altro delle verghe, o per versi contrari nelle due metà della lunghezza; o pure sono formate di linee trasversali che hanno una disposizione alterna sulle facce o sopra i lati opposti delle verghe i cui estremi cadono perpendicolarmente sopra due linee nodali longitudinali che occupano due lati diametralmente opposti.

« *In terzo luogo*. Il paragone degli allungamenti delle verghe mercè le vibrazioni longitudinali e mercè de' pesi rende aperto che un lieve scuotimento molecolare può dar luogo ad uno sviluppo di forze che per rispetto alla cagione sembra grandissimo, tanto più che sembra proporzionale alle aie delle sezioni delle verghe ».

Per dimostrare le due prime di queste proposizioni generali, Savart prima di tutto determina per esperienza le leggi de' sistemi nodali che si osservano nelle vibrazioni longitudinali delle verghe, e per tal modo comprova che questi sistemi non possono in verun conto dalle stesse vibrazioni longitudinali derivare, ma che nascono da un *moto concomitante*, i cui periodi sono simili a quelli delle vibrazioni trasversali. Ciò posto, nasce una difficoltà che da prima sembra insuperabile. Le vibrazioni trasversali essendo perpendicolari all'asse, se il moto concomitante di cui si parla è della stessa natura, esso dovrebbe far saltare la sabbia perpendicolarmente alle facce delle verghe, nell'atto che per l'opposito la fa, come per un impulso longitudinale, scorrere tangenzialmente. Ma Savart scioglie questa difficoltà con una serie d'ingegnosissime sperienze. Sia ab (*fig.* 67) una porzione di verga piegata improvvisamente di una piccola quantità, onde la faccia ab ne resti allungata, accorciata l'altra cd; durante l'allungamento le molecole camminano tangenzialmente di a in n e di b in n; la sabbia dunque si muove per lo stesso verso ed avvi in n un punto di quiete, ovvero una linea nodale, formato dallo incontrarsi di questi moti opposti della sabbia; per contro durante l'accorciamento della faccia cd, le molecole della stessa camminano tangenzialmente di v in c e di v in d; le molecole dunque di sabbia procederebbero per lo stesso verso allontanandosi dall'una e dall'altra parte del punto v, il quale per tal modo un ventre di vibrazione diventa. Ora che questa porzione di verga torna alla sua giacitura rettilinea senza curvarsi dall'altra banda, seguirà durante il ritorno il medesimo effetto; e però se la vibrazione trasversale ha poca ampiezza, e se da un lato solo si compie, il punto n della convessità sarà necessariamente un nodo, nell'atto che il punto v della cavità sarà assolutamente un ventre. Questo che accade ad una delle porzioni della verga è forza che avvenga a tutte le parti contigue successive che subiscono simili ed opposte pressioni (*fig.* 68); donde segue che i nodi dell'una delle facce corrispondono a ventri dell'altra; ed al contrario.

Questo è il principio donde parte Savart:

noi vi aggiungeremo alcuni particolari ricavati dalla sua Memoria.

» In primo luogo è mestieri osservare che le verghe libere dai due capi le quali vibrano trasversalmente possono presentare un numero pari o dispari di linee di quiete, e che però il moto longitudinale potrà essere isocrono col moto trasversale che è accompagnato da un sistema nodale dell'una o dell'altra specie. Indi siccome gl'intervalli tra i suoni che compongono la serie degli armonici delle verghe libere trasversalmente vibranti, sono molto grandi specialmente pe' modi più semplici di divisione, potrà eziandio accadere che il suono longitudinale cada tra i due suoni del moto trasversale; ma noi qui discorreremo solo del caso in cui l'isocronismo naturalmente avviene.

» Sia dunque una verga (*fig.* 69) vibrante trasversalmente ed avente un numero dispari di nodi 0, 1, 2, ... ; 0', 1', 2', ... i quali si corrispondono: siccome i numeri delle vibrazioni delle verghe che vibrano longitudinalmente solo dalla lunghezza dipendono, ed i numeri delle trasversali solo dalla grossezza, così è chiaro doversi sempre essere una tale grossezza la quale faccia sì che il modo di divisione espresso nella figura risulti di un numero di vibrazioni eguale a quello delle longitudinali; ora sopprimendo i nodi 1, 3, 5, 7 sulla faccia superiore della verga, 0', 2', 4', 6', 8', sulla inferiore, si avrà una disposizione nodale su questa medesima verga longitudinalmente vibrante (*fig.* 70), disposizione che facilmente s'incontra.

» Ma per esperienza si conosce non esser la sola che possa nascere da un numero dispari di nodi; perocchè le linee 0, 2, 5, 7, sulla faccia superiore, e le altre 1', 3', 6', 8', sulla inferiore, possono eziandio sparire, ma in questo caso i nodi 4 e 4' (*fig.* 72) si allontanano alquanto dal mezzo della lunghezza della verga, in modo che gl'intervalli 3, 4 e 4', 5' diventano più grandi che i ventri delle vibrazioni del moto trasversale. Nel primo caso il modo d'inflessione della verga è semplicissimo, essendo le parti vibranti tutte di eguale lunghezza (*fig.* 71); nel secondo (*fig.* 73) sonovi nel mezzo della lunghezza due parti vibranti più corte assai delle altre; e sembra che le due metà della verga si pieghino l'una indipendentemente dall'altra. Ma quello che accade nel mezzo della lunghezza segue da questo, che cominciando le contrazioni longitudinali dall'estremità della verga, può avvenire che vi generino delle curvature, il cui verso sia opposto per parti vibranti lontane dalla metà della lunghezza; nell'atto che nel modo d'inflessione (*fig.* 71) queste curvature si fanno dallo stesso lato dell'asse. Essendo adunque in tal modo sforzato lo stabilimento delle due piccole parti vibranti della metà della lunghezza, di leggieri s'intende che il moto in questo punto debba essere sempre più o meno irregolare; del pari le linee nodali 4, 4 sono sempre molto mal disegnate e sovente oblique a' lati della verga invece di essere a' medesimi perpendicolari, come lo sono tutte le altre: accade benanche assai spesso che la sabbia invece di muoversi parallelamente a' lati è trascinata in direzioni oblique, o secondo curve più o meno irregolari. Ciò non ostante questo modo di divisione è forse quello che più spesso s'incontra.

» Supponghiamo ora che la verga serbando la stessa lunghezza scemi alcun poco di grossezza, rimanendo per conseguenza invariato il suono longitudinale; sarà mestieri che il modo di divisione trasversale si modifichi: facciamo che la diminuzione sia tale da far nascere l'isocronismo dei due movimenti, e che la verga trasversalmente vibrante presenti un numero pari di nodi (*fig.* 74): se si fanno scomparire i nodi 0, 2, 5, 7, sulla faccia superiore, e gli altri 0', 2' 4' 6', sulla inferiore, si avrà una disposizione nodale della verga vibrante longitudinalmente (*fig.* 75), disposizione che assai spesso si avvera: se per contro si fanno scomparire i nodi 0, 2, 5, 7 sulla faccia superiore, ed i nodi 1', 3', 4', 6' sulla inferiore si avrà la disposizione nodale della verga vibrante longitudinalmente (*fig.* 77). Nel primo caso il modo d'inflessione sarà sempre semplicissimo (*fig.* 76), il più intrigato nel secondo (*fig.* 78): la verga nel mezzo della sua lunghezza presenterà una parte vibrante per metà più corta delle altre, ed in *m* apparirà una linea in cui la sabbia si riunirà, ed a piccolissima distanza dalla quale si farà un moto contrario per andare a formare i nodi 2' e 5. Questo modo d'inflessione s'incontra più spesso dell'antecedente: esso al pari di quello della figura 73 deriva da ciò, che le curvature si generano prima negli estremi ed al medesimo verso che affettano. Il paragone delle figure 76 e 78 rende aperto questo potere del verso delle curvature ».

Le verghe dunque a sezione rettangolare che vibrano longitudinalmente possono prendere quattro modi di divisione assai diversi; cioè: i modi *a* ed *a'* (*fig.* 70 e 72) che risultano dalle vibrazioni trasversali, il cui numero di nodi è dispari, ed i nodi *b*, *b'* (*fig.* 75 e 77) i quali per contro derivano dalle vibrazioni trasversali il cui numero di nodi è pari. Questi

quattro modi possono tra loro innestarsi, e mercè la congiunzione de' medesimi Savart rende ragione degl'intrigatissimi fenomeni che presentano le verghe quadrate o prismatiche, i cilindri, le canne e le corde. In tal modo, per esempio, le canne danno le singolarissime linee nodali della figura 70 o quelle meno discontinue della figura 80, le quali derivano dalle prime.

Per dimostrare la terza proposizione generale posta di sopra, Savart ha determinato con esperienze molto precise gli allungamenti che acquistano le verghe nel tempo delle loro vibrazioni longitudinali, ha potuto così rendersi certo che pel rame, ottone, acciaro, ferro e legno questi allungamenti spesso arrivano ad un diecimillionesimo e mezzo o due diecimillionesimi della lunghezza, cioè circa due decimi di millimetro per verghe di 1 metro, tanto se sian sottili quanto se siano grosse. Ora il peso necessario per ingenerare, tirando, un simile allungamento, dovrebbe essere assai considerabile se venisse applicato soltanto a verghe di qualche centimetro di diametro: da ciò segue adunque una maniera di paradosso meccanico, avendo per una semplice vibrazione una forza prodigiosa. Per meglio rendere aperto questo fatto, basta incollare con la cera un piccol tubo di vetro ad una grossa trave di legno, poi mettere il tubo in vibrazione toccandolo con drappo bagnato: incontanente tutta la massa della trave entra in vibrazione longitudinale allungandosi e contraendosi; e pure ci vorrebbero pesi enormi adoperati a tirare o comprimere per arrecarvi cotesti cambiamenti di dimensioni che si hanno da leggiero strofinio.

Abbiamo finora parlato dei soli modi di vibrazioni che appartengono alle verghe i cui estremi son liberi, ma quando questi stabilmente si fermino o anche un solo di essi, simili fenomeni si generano.

Il signor Cagniard de la Tour ha fatto numerose sperienze sulle vibrazioni longitudinali de' lunghi tubi pieni di liquido. Tutta la massa liquida in questo caso partecipa delle vibrazioni delle pareti, e quindi ne derivano de' dilatamenti e delle contrazioni molecolari assai considerabili le quali ingenerano delle discontinuità più o meno apparenti. Ma questi notevoli fenomeni non sono stati assai bene posti in disamina, in guisa da potere riassumere i risultamenti delle osservazioni (*Ann. de Phys. et de Chim. t. 56*).

338. *Vibrazioni dei corpi nei quali una sola dimensione sia piccola per rispetto alle due altre. Lamina, membrane, campane*, ec.

Per far vibrare le lamine si può adoperare la molla della figura 103, dopo di averle ben fermate in un sostegno; la lamina *p* (*fig.* 105) è premuta tra il cilindro *a* e la vite *b* che terminano l'una e l'altra in un pezzo conico di sughero o di pelle di bufalo; quando è molto fortemente premuta, si scuota con un archetto, e se ne trarranno dei suoni puri dei quali è agevole prendere gli unisoni sopra di un pianoforte.

In tal guisa procedendo da principio si dimostra questo primo risultamento generale che, qualunque sia la sostanza della lamina, legno, terra cotta, vetro, metallo ec.; e qualunque la sua forma rotonda, ellittica, ec.; sempre se ne possono ottenere de' suoni oltremodo svariati, salendo dal grave all' acuto con più o meno prossime gradazioni. Si conferma del pari quest' altro risultamento che, la piastra per ogni suono che rende si divide in *parti vibranti* ed in *linee di quiete* o *linee nodali*, che offrono una disposizione particolare con questa notevole circostanza, che, siccome il suono si eleva così l' estensione delle parti vibranti diviene più piccola, e però maggiore il numero delle linee nodali.

Per rendere aperto tutto questo, s' impolvera la superficie superiore della piastra con sabbia asciutta e sottile, questa si porrà in moto al primo suono che si genera, salterà e ricadrà più volte in un minuto secondo, ed ognor respinta dalle parti vibranti andrà ad accumularsi sulle parti immobili segnando in tal modo le tracce delle linee nodali. Savart ha immaginata una ingegnosa maniera di rilevare con precisione quelle figure che sarebbe impossibile ritrarre con la matita tanto essendo intrigate e bizzarre: il perchè in luogo di sabbia egli adopera de' pani di girasole polverizzati con gomma, ridotti poscia in polvere, seccati e polverizzati di nuovo, indi passati per uno staccio per averne granelli uguali e di conveniente grossezza. Quando questa polvere colorata ed igrometrica ha delineato sopra una lamina le linee nodali corrispondenti ad un dato suono, basterà applicare sulla lamina un foglio di carta lievemente inumidito con acqua gommata premendolo alquanto da potere imprimere sulla carta la figura esistente sulla lamina. Così il Savart è giunto nel tempo stesso a notare molte centinaja di suoni prodotti da una medesima lamina, ed a raccoglierli per paragonarne tutte le figure corrispondenti a' medesimi.

Lamine quadrate. — La figura 102, per esempio, rappresenta 70 figure generate da una stessa lamina quadrata; queste figure sono disposte in ordine metodico di cui indicheremo la regola. La cifra che sta a sinistra della merca al di sopra di ciascuna figura segna

il numero delle linee nodali orizzontali, e quella che sta a destra il numero delle verticali: le linee reali come si può vedere non sono continue ma più o meno rigirate, ciò non pertanto possono ricondursi sempre alle direzioni orizzontali e verticali. Dobbiamo anche avvertire che le diagonali sono sempre prese per linee verticali, cui decomponendosi si avvicinano. Le cifre che sono in cima di ciascuna serie indicano la differenza tra il numero delle linee orizzontali e quello delle verticali; così la cifra 3 che sta in cima della quinta serie dinota che in tutta questa le linee nodali verticali eccedono di 3 le orizzontali. Savart fa benanche osservare che quando il numero di queste ultime è la metà delle prime vi sono de' piccioli cerchi chiusi in un quadrato situato diagonalmente, come si vede per $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{6}$, $\frac{4}{8}$, $\frac{5}{10}$, e che quando è il terzo, i piccoli cerchi sono in quadrati retti come $\frac{2}{6}$, $\frac{3}{9}$, ec.

Oltre cosiffatte figure della lamina quadrata, il Savart ne ha rilevate molte altre corrispondenti a' suoni intermedj le quali come si suppone non si ottengono senza fissare sulla piastra parecchi punti che debbono appartenere a linee nodali (ved. il sostegno, *fig.* 104 per le lamine quadrate e 112 per le circolari).

Chladni avea pensato che considerando solo le figure le quali hanno uno stesso numero di linee nodali verticali ed orizzontali, i numeri delle vibrazioni corrispondenti sono tra loro come i quadrati delle linee nodali: ma Savart ha fatto vedere che questa legge dà sempre numeri di vibrazioni assai piccioli o suoni assai gravi, e che l'errore è tanto più grande quanto più è considerabile il numero delle linee nodali, così pel suono corrispondente a 15 linee nodali verticali ed altrettante orizzontali, l'errore è grandissimo.

Le lamine triangolari, rettangolari, o poligone danno figure simili alle precedenti, ma senza la specie di simmetria binaria delle lamine quadrate.

Lamine circolari. — Una lamina circolare dà benanche una moltitudine di suoni, a ciascuno de' quali appartiene una determinata figura; ma l'unione di queste figure può essere riferita a tre sistemi diversi, al *sistema diametrale* cioè, al *concentrico* ed al *composto*.

Il *sistema diametrale* è unicamente composto di diametri, i quali dividono la circonferenza in un numero pari di parti eguali: nella figura la più facile ad aversi si contano due diametri e quattro parti nella circonferenza (*fig.* 105), indi tre diametri e sei parti, ec.

Ne' cerchi di metallo i quali hanno 3 o 4 decimetri di diametro si posson sovente numerare fino a 36 o 40 parti. Nella circonferenza è facile il giudicare perchè in queste maniere di divisioni per linee rette, le parti debbono esser sempre eguali e pari di numero. Imperciocchè 1.° è chiaro che tutte coteste parti debbon vibrare all' unisono, cioè compiere nell' istesso tempo lo stesso numero di vibrazioni, e poichè queste son disposte nell' istesso modo, è forza che abbiano eguali ampiezze; 2.° due parti contigue debbono avere de' moti opposti dall' una e dall' altra parte della linea nodale, cioè l' uno deve passare a destra della primiera giacitura, nell' atto che l' altro passa a sinistra, ed al contrario; la qual cosa non potrebbe accadere se le parti fossero in numero dispari.

Nel *sistema concentrico*, tutte le linee nodali son circonferenze che hanno il lor centro in quello della lamina.

Il caso più semplice è quello di una linea nodale (*fig.* 106); indi se ne possono ottener due, tre o più. Per riprodurre più agevolmente queste figure, prende Savart come Chladni delle lamine di gran diametro, vi apre nel centro un buco circolare di 4 o 5 millimetri di diametro, ed introduce in questo un laccio di crini a forma di archetto (*fig.* 107). La lamina dev' esser solamente mantenuta per qualche punto delle linee nodali che si voglion produrre.

Nel *sistema composto*, le linee nodali son diametri più o meno curvati o circonferenze più o meno alterate nel loro dintorno. Le figure 108 e 109 rappresentano qualcheduna delle moltiplici forme che aver si possono. È mestieri di una certa abilità per averle; ma l' arte consiste a premere con le dita uno o più punti pe' quali le linee nodali debbono passare (*fig.* 112).

Savart ha studiato anche le figure generate dalle lamine circolari; la Memoria su tal subbietto non è ancora pubblicata, ma gli è piaciuto di parteciparmi alcune importanti osservazioni sul proposito; egli ha per esempio osservato che nel sistema diametrale i raggi cessano di prolungarsi fino al centro tosto che il loro numero alquanto grande diventa; ed allora le parti centrali della lamina danno origine a suoni armonici, a' suoni cioè 2, 3 e 4; prendendo per 1 il suono generato dalle parti della lamina che sono prossime alla circonferenza. La figura 111 è sufficiente ad indicarci quanto facilmente potremmo ingannarci intorno alla direzione delle linee nodali, se non si sapesse con precisione imprimerle nel momento in cui sono prodotte.

Lo spostamento delle linee nodali è un fenomeno notevolissimo dovuto eziandio alla somma sagacia del signor Savart. Ecco in che consiste prendendosi un disco di ottone ben lavorato del diametro di 4 decimetri e di 2 in 3 millimetri di grossezza, disponendolo come nella figura 110, e scuotendolo per l'orlo con un archetto, dopo di aver sparso sulla sua superficie della polvere di muschio la quale è molto più leggiera della sabbia, tosto si osserva che le linee nodali di questo caso, per alcuni suoni gravi e pieni che corrispondono ad una figura diametrale di 4, 6 od 8 raggi, non rimangono fisse; esse ricevono un assai distinto moto di oscillazione, e continuando il moto dell'archetto si giunge a farle girare di un moto di rotazione continuo, in modo che allora la polvere di muschio forma un rapido turbine che percorre la superficie del disco tenendosi ad una certa distanza dalla circonferenza e parallelamente alla medesima. La quale sperienza è una delle più importanti che si possono fare con le lamine circolari. Il signor Savart nel seguente modo rende ragione del fenomeno: ne'dischi meglio lavorati l'elasticità non è per tutt'i versi la stessa; v'è un diametro corrispondente alla massima ed un altro alla minima elasticità; ciò posto scuotendo con l'archetto il disco, toccando un tal punto che le linee nodali tendano a situarsi su questi diametri, esse si terranno immobili; ma col toccarne un altro punto, poichè le flessioni che l'archetto produce sugli orli del disco non sono simmetriche, le linee nodali che allora si formano tendono a ritornare alla loro giacitura primiera, e però esse oscillano dall'una parte e dall'altra della medesima, oppure si mettono a girare con moto continuo, quando le grandi corse del disco danno alle medesime ampiezza bastante a causare il luogo di riposo.

Lamine la cui forma è un poligono regolare. — Savart nel suo pregevole lavoro qui sopra citato (*Ann. de Phys. et Chim.* t. 73), riassume le sperienze sul proposito nel modo seguente:

1°. Le figure acustiche de' poligoni regolari sono di due ordini, le une sono semplici e le altre composte;

2°. Le figure semplici o generatrici sono formate alcune di linee parallele alle direzioni di massima resistenza alla flessione ed altre di linee parallele alle direzioni di minima resistenza alla flessione;

3°. Le figure composte si formano dalla riunione delle due figure generatrici senza addizione di linee nodali straniere: esse dunque si compongono da'due sistemi di linee di quiete le une parallele alla direzione di massima e le altre alla direzione di minima resistenza alla flessione;

4°. Finalmente le figure acustiche di uno stesso poligono possono essere coordinate in un quadro a doppia entrata, nel quale ciascuna figura per quanto intrigata si voglia supporre ha il suo posto determinato, il quale accenna alla sua composizione.

Campane. — Le campane eseguono generalmente delle vibrazioni perpendicolari come le lamine e si dividono del pari in diverse parti separate da linee nodali la cui traccia può oltremodo irregolare riuscire. Per acquistare un'idea di queste linee nodali, basterà porre acqua o mercurio in una campana o gran vase di vetro col piede, e scuoterne l'orlo con un archetto; allora si vedrà la superficie liquida dividersi distintamente, come per esempio nelle figure 113 e 114, dove sonovi due diametri perpendicolari le cui estremità corrispondono a 4 linee nodali perfettamente distinte. Si può ancora confermare che queste linee nodali si rimuovono come nelle piastre circolari.

Membrane. — Le membrane presentano de'modi di vibrazione che somigliano in certo modo a quello delle lamine solide; il che si rende aperto adoperando la carta o la pergamena, o anche meglio una pellicola (*baudruche*) pieghevole ed eguale: è mestieri solo di un metodo particolare per tendere e scuotere queste maniere di lamine sottili in guisa da non poter reggere da se. Il signor Savart ha fatto su questi fenomeni uno studio particolare: egli fissa le membrane pe'loro orli su telai di legno o sull'orifizio di una campana di vetro: le bagna più o meno per dar loro più o meno grandi tensioni; per iscuoterle poi avvicina fino ad una certa distanza un campanello vibrante, ovvero una canna d'organo il cui suono sia pieno e sostenuto: in quello che il suono incomincia, la membrana entra in vibrazione quasi fosse direttamente toccata; i granelli di arena onde questa è coperta saltano sulla sua superficie e si radunano ne'punti di quiete, segnandovi le linee nodali. Le figure che si ottengono derivano dalla tensione della membrana e dall'acutezza del suono che lo colpisce.

Savart ha procurato di mettere in disamina la serie delle figure che può presentare una stessa membrana, vibrante nel modo innanzi descritto: e quel che noi di meglio possiam fare, è di riferire qui le osservazioni da lui fatte sopra quest'obietto importante. (*Ann. de Phy. et de Chim.* t. 32 pag. 386).

» Per maggior semplicità supporrò che siasi da prima avuto una figura composta di linee nodali rettilinee che si tagliano ad angoli retti,

e dirò per qual progresso questa figura può tramutarsi in un'altra composta soltanto di linee parallele.

» Io suppongo per esempio che siasi giunto a produrre la maniera di divisione espressa dal n° 1 della figura 115; se la tensione della membrana è costante ed il suono si renda alquanto più acuto, potrà accadere che gli angoli verticali *aa' bb' cc' dd'* si separino come nel n°. 2 il quale prenderà l'aspetto de'n. 3, 4 e 5 se il suono ancor più acuto si renda; e finalmente quello del n°. 6 composto solo di quattro linee parallele; ma questa maniera di passare dal primo modo di divisione a quello del n° 6 con questa sorta di separazione di angoli non è unica per la membrana; le figure 116 e 117 offrono degli esempj di trasformazioni diverse mercè le quali si perviene anche a quattro linee parallele. Può anche accadere (*fig.* 118) che gli altri angoli verticali *aa' bb' cc' dd'* sien quelli che da prima si dividano e che la figura disegnata dall'arena prenda successivamente l'aspetto de' num. 2, 3, 4, 6; o pure che questa divisione avvenga come nel n°. 2 delle figure 119 e 120, il che genererà anche nuove modificazioni nelle figure seguenti che conducono alle quattro linee parallele. Da ultimo si potrà anche fare che gli angoli opposti non si separino come nel n°. 2 della figura 121 in cui si passa al n°. 6. per via di semplici inflessioni di linee rette per versi contrarj.

» Ora queste linee parallele posson passare ad altro numero di linee parallele, o segantisi ad angoli retti; la figura 122 dinota una trasformazione di questa maniera di divisione a due linee nodali parallele, e la figura 123 un passaggio della stessa maniera di divisione anche a quattro linee parallele, ma tagliate ad angoli retti da due altre.

» Quando generalmente si parte da una figura composta di linee che si segano ad angoli retti, le modificazioni successive derivano dalla maniera con cui gli angoli opposti al vertice si separano; il che assai bene si vede nelle figure 124 e 125, le quali esprimono i passaggi a quattro linee parallele. Se per contrario si parte da quattro linee parallele, si può generalmente dire che le successive modificazioni derivano dalle diverse inflessioni che queste linee possono ricevere; di modo che nelle figure 124 e 125, i numeri 5 considerati come prime modificazioni delle linee rette debbon produrre dei fenomeni del tutto diversi, imperocchè in uno le linee si curvano da prima in fuori, e nell'altro in dentro. Ma di tutte le modificazioni nascenti dalle linee rette, non v'ha alcuna che offra più singolari fenomeni di quelli che risultano dalle alternative inflessioni che queste linee posson da prima prendere, secondo che si presentano due curvature per un verso ed una per l'altro, o tre per un verso e due per l'altro ec. ec. Sen vedono degli esempi spiccati nelle figure 126 e 127.

» Da queste osservazioni dunque segue che non solo le membrane quadrate son capaci di produrre tutt' i numeri possibili di vibrazioni e che per ciascuno di questi esse si dividono in una maniera particolare, ma eziandio uno stesso numero di vibrazioni può nascere da parecchi modi di divisione. Per rispetto alle membrane poi i cui perimetri sian diversi, circolari, triangolari, ec., queste presentano fenomeni analoghi, sebbene più intrigati. Così per esempio in una membrana circolare (*fig.* 128) tre linee diametrali possono passare gradatamente a tre linee parallele, ed indi ad una sola linea diametrale accompagnata da una linea circolare; cinque linee diametrali posson passare a cinque parallele, e di là ad altre maniere di divisioni, a due linee circolari per esempio segate da una sola diametrale.

» Le successive trasformazioni delle nodali son molto più difficili ad osservare sulle lamine rigide che sulle membrane, imperocchè siccome non si posson produrre delle date maniere di divisioni senza rendere immobili molti punti della superficie di questi corpi, interviene quasi sempre che questi punti appartengono nello stesso tempo ad uno o a più altri sistemi di linee nodali, di modo che si va spesso da un suono molto grave ad uno molto acuto senza passare per gl' intermedj ».

Questi notevoli risultamenti debbono esercitare qualche potere sopra i fenomeni dell'udito, imperciocchè la membrana del timpano somiglia quella che Savart ha sottomessa all'esperienza; io aggiungerò qui anche quest'altra osservazione del Savart, che le membrane producendo senza dubbio dei suoni armonici come le lamine circolari con le vibrazioni delle loro parti centrali, è probabilissimo che ascoltando uno strumento il quale generi un suono solo, ci accada nondimeno di sentire nello stesso tempo un suono solitario ed i suoni armonici, prendendo quasi origine nello stesso nostro organo dell'udito, a cagione della sua conformazione.

339. *Effetti dell'aria sulla forma delle linee nodali.* Il Faraday avea osservato che le linee nodali che si ottengono nel vòto non hanno sempre perfettamente l' apparenza medesima di quello che si hanno nell' aria, quando specialmente si adopera la polvere di muschio.

Savart ha confermati tali risultamenti con molte sicure sperienze, ed ha in pari tempo scoperta la vera cagione di cotal differenza. Egli si è renduto certo che una lamina qualunque di una certa larghezza non può vibrare nell'aria senza che dall'una parte e dall'altra delle linee nodali si formino de' piccoli turbini assai notevoli i quali traggono dietro di se leggiere polveri, e le depongono nel punto dove si congiungono, e dove la loro velocità si adopera a premerle sulla lamina. Immergendo per esempio nell'acqua l'estremo di una lamina larga che vibri in modo da presentare una linea nodale nel mezzo di sua lunghezza, si vedrà distintamente, mercè le polveri nuotanti nell'acqua, un doppio turbine rappresentato nella figura 129. Ora quello che avviene nell'acqua, accade anche nell'aria; e si comprende che nell'incrociamento delle linee nodali, modificandosi questi turbini tra loro opposti, ne debbano almeno in apparenza risultare ora de' punti ed ora delle linee di quiete addizionali, dove la polvere leggera si deposita, tutto che sotto di questi ingannevoli depositi accadono delle vibrazioni; e questi punti e queste linee sono quelli che nel vuoto spariscono.

340. ***Vibrazioni de' corpi che non hanno la stessa elasticità per tutti i versi.*** — Savart ha pubblicato sul proposito due importantissime memorie (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. 40) delle quali appena possiamo dir poche cose.

Egli ha in primo luogo notato, che facendo vibrare una lamina ellittica omogenea di vetro o di metallo (*fig.* 88), il sistema di due linee diametrali perpendicolari si dispone immancabilmente secondo la direzione dell'asse maggiore *aa'*, e dell'asse minore *bb'*; e che se si tenti per forza di cambiar questo sistema, scuotendo uno degli estremi degli assi anzidetti, esso si sposterà ma non senza alterarsi, perciocchè si muterà in una maniera d'iperbole *hh'* ed *yy'* il cui asse principale è diretto secondo l'asse maggiore dell'ellissi, allora però il suono è più grave.

È mestieri di maggior forza per piegare l'ellissi secondo *aa'*, che secondo *bb'*, onde l'asse principale dell'iperbole è diretto secondo la maggior resistenza alla flessione.

Una lamina circolare di ottone presenta fenomeni analoghi quando la sua elasticità siasi per un verso diminuita mediante alcune strisce di sega parallele, che abbian tolta solamente una parte della sua grossezza. In questo stato il sistema delle due linee diametrali perpendicolari, non può più girare intorno al suo centro, una delle linee onde è composto resta fissa nella direzione parallela alle strisce di sega, e l'altra perpendicolare alle medesime. Ma se si scuotono questi punti, il sistema si muta in un'iperbole, il cui asse principale è tuttavia diretto secondo la maggior resistenza alla flessione.

Per conoscer poi i fenomeni che presentano le lamine, la cui elasticità varia gradatamente per direzioni perpendicolari o diverse, Savart ha tagliato molte lamine circolari di legno aventi le loro superficie parallele più o meno inclinate al piano delle fibre o alle fibre medesime. Supponiamo, per esempio, che *cc'* (*fig* 89) rappresenti un cubo di faggio, la cui superficie *p* sia parallela al piano delle fibre; il lato *t* perpendicolare ai loro strati, e l'altro *b* perpendicolare al loro taglio. Se si abbian molti cubi simili ricavati dallo stesso pezzo di faggio, tutti senza difetto, e perfettamente omogenei fra loro, se ne potran ricavare lamine della stessa grossezza e dello stesso raggio, che si potran considerare come se fossero uscite dallo stesso cubo. Le une saran tagliate perpendicolarmente al lato *p* nelle direzioni *pm*, *pm'*, *pd*, e nelle intermedie; le altre perpendicolarmente al lato *t* anche nelle direzioni *tm*, *tm'*, *td*, ec.; le altre in fine perpendicolarmente al lato *b*, ed anche secondo le direzioni *bm'*, *bm'*, *bd*, ec. Facendo vibrare tutte queste lamine, ma solo per averne il sistema delle linee nodali diametrali perpendicolari, o il sistema dei due rami iperbolici, il Savart ha trovato delle notevoli relazioni tra le giaciture di questi sistemi e le direzioni dei diversi assi dell'elasticità del legno di faggio. Egli ha conosciuto che i numeri di vibrazioni sono solo indirettamente collegati coi modi di divisione, perciocchè due figure nodali simili posson nascere da tuoni differenti, e per contro uno stesso tuono può derivare da due diverse figure nodali. Da ultimo in queste lamine eterogenee tutti i modi di divisione sono doppi, cioè ognuno particolarmente considerato può sempre, ricevendo tuttavia delle alterazioni più o meno considerabili, disporsi in due determinate giaciture.

Facendo vibrare tre piccole verghe prismatiche a basi quadrate ricavate da cubi simili ai precedenti, tagliate secondo le direzioni *dc'*, *df* e *dr*, il Savart ha dedotto dai suoni dati da queste verghe la ragion delle resistenze che il legno di faggio oppone alla flessione secondo queste direzioni rettangolari. Egli trova, che prendendo per unità la inflessione secondo *dc'*, questa è 2, 25 secondo *dr*, e 16 secondo *df*.

Savart ha fatto simili ricerche sul cristallo di rocca. Ognun sa che questo corpo si ha ordinariamente in natura sotto la forma di un

prisma esaedro terminato da due piramidi (*fig.* 90). La linea *ss'* che congiunge i vertici delle piramidi è l'asse del cristallo. Or nelle lamine perpendicolari a questo asse, il sistema delle due linee nodali diametrali perpendicolari (*fig.* 91) potendo generalmente girare intorno del centro senza sensibile alterazione, ne segue che l'elasticità sia presso a poco la stessa secondo tutti i raggi.

Le lamine tagliate parallelamente all'asse non hanno tutte la stessa elasticità; quelle che passano per l'asse e per un raggio della sezione *abcdef* del prisma (*fig.* 92), danno delle linee nodali perpendicolari, ovvero il sistema iperbolico (*fig.* 93), nell'atto che quelle che passano per l'asse e per lo cateto *op* dell'anzidetta sezione, posson solo presentare due sistemi iperbolici pressochè simili, corrispondenti però a due tuoni diversi (*fig.* 94). Gli assi di queste iperboli par che siano inclinati fra loro per 51 in 52°.

Altre lamine tagliate per direzioni diverse danno risultamenti anche diversi, ed il Savart è indotto a conchiudere dal confronto di tutte le sue sperienze che il cristallo di rocca abbia tre sistemi di elasticità, ciascuno rappresentato da tre linee. Egli procura anche mercè alcune ingegnose considerazioni di conoscere la direzione delle medesime; ma non ci è permesso qui entrare in tutti questi particolari, nè intrattenerci nelle discussioni dalle quali dovrebbero essere accompagnati.

340. *bis. Vibrazioni dei corpi nessuna dimensione dei quali sia piccola per rispetto alle altre.* — Dalle cose dette segue chiaramente che tutte le masse solide possono eseguire delle vibrazioni al pari delle verghe, delle lamine o delle membrane, e che durante il lor moto esse si dividono in diverse parti vibranti separate le une dalle altre da *superficie nodali* più o meno irregolari. Onde, allorchè un masso di legno, di pietra o di ferro rintrona sotto ai colpi del martello, si possono immaginare le pressioni che di falda in falda si propagano per tutte le direzioni dalla prima molecola colpita fino alle ultime che ne sono più lontane, e questa diffusione di moto accade come in una colonna d'aria, cioè per onde condensate e rarefatte; se non che le onde sono tanto più brevi per quanto minore è la compressibilità della materia. Ma per iscuotere masse alquanto considerabili e farne uscire suoni puri e sostenuti, s'incontran sempre grandi difficoltà, e per tal ragione poche sperienze sonosi finora fatte sul proposito. Le masse di materia e forme diverse, offrirebbero intanto maniere di divisione e linee nodali che sarebber senza dubbio acconce a farci conoscere la interna struttura e tutti gli accidenti della elasticità delle masse anzidette.

341. *Delle vibrazioni de' corpi entro fluidi diversi.* — I corpi possono eseguire delle vibrazioni entro i fluidi elastici ed anco entro i liquidi, appunto come fanno nell'aria; ma comprendesi che l'inerzia e la resistenza del mezzo circostante debbono ingenerare delle variazioni sulla rapidità delle vibrazioni, e per consegnenza sul loro numero e sul tuono che ne risulta. Cotesto potere è tanto più grande, per quanto la massa fluida che il corpo solido deve scostare nei suoi moti, è più considerabile. Laonde le vibrazioni perpendicolari alla superficie di unione di un solido e di un liquido riceveranno maggiori alterazioni di quelle tangenti alla superficie medesima. Il Savart, per esempio, ha conosciuto che un disco di vetro scosso mercè un piccol tubo fermato al suo centro perpendicolarmente alla sua superficie, nell'acqua rende un suono molto più grave che nell'aria; le linee nodali concentriche che osservansi in questo caso non sono più le stesse: nell'acqua queste si allontanano dal centro. Questo fenomeno, molto spiccato quando dall'aria si passa nell'acqua, deve, sebbene con minore intensione, avverarsi quando si faccia successivamente vibrare lo stesso corpo entro fluidi diversi per densità o per elasticità.

Le differenze son molto minori nelle vibrazioni tangenziali: onde una lamina o una verga, che vibri secondo la sua lunghezza, rende sensibilmente lo stesso suono se sia immersa nell'aria, nell'acqua o anche nel mercurio.

CAPO IV.

DEL MOTO DI VIBRAZIONE DELLE MASSE FLUIDE.

342. *Varj modi di far vibrare i liquidi* — Quando due corpi solidi che si urtan sotto l'acqua generano un rumore che da lungi risuona, il liquido è scosso direttamente in tutti i punti in cui tocca le superficie de' corpi vibranti, ed è scosso in questo caso, come le sono i gas pel fremito di una campana. Così anche per urto diretto possono le vibrazioni normali dei dischi e le longitudinali delle verghe, delle quali di sopra è detto, scuoter l'acqua, il mercurio e gli altri liquidi. E però potrebbe alcuno per avventura credere che l'urto de' solidi sia assolutamente necessario per far vibrare i liquidi. Ma il meccanismo della sirena può destare nell'acqua ed in ogni altro

liquido vibrazioni sonore di diversa origine. L' esperienza si fa nella maniera seguente: *v* (*fig.* 66) è un vase largo e profondo entro di cui si ferma una sirena in *s*; il tubo *t* ordinato a recare il vento è chiuso mercè una chiavetta *r*, e serve in questo caso a recare il liquido, perocchè esso è congiunto al tubo di piombo *p* pieno d' acqua, il quale discende da un serbatojo elevato per dodici o quindici piedi. Disposto così lo strumento, si pone dell' acqua nel vase *v* finchè copra il piatto mobile della sirena, si apre la chiavetta *r*, e tosto l' acqua si caccerà pei buchi, il piatto si metterà in moto e si ascolterà un distintissimo suono. Potrebbe alcuno per avventura sospettare che il suono si propagasse attraverso il *montante* dello strumento che ancora trovasi fuori dell' acqua; ma si persuaderà dell' opposto vedendo in poco d' ora tutto lo strumento sommerso per molti pollici, ed ascoltando tuttavia il suono che pare più puro e meglio sostenuto di prima.

Il liquido dapprima spinto ne' buchi della tavola e del piatto, ed indi arrestato, poi spinto ed arrestato di nuovo, e così appresso con rapide alternative, è soggetto precisamente a quelle stesse vicende cui trovasi esposta l' aria in simili congiunture.

V' ha senza dubbio altre maniere di destare nei liquidi delle vibrazioni sonore senza la percussione dei solidi: si sa, per esempio, che una corrente di scintille elettriche genera uno scoppio netto e spiccato in mezzo ad una massa liquida. E forse se si disponesse uno strumento per accendere, mercè l' elettricità, in mezzo all' acqua delle piccole bolle di miscuglio detonante d' idrogeno e d' ossigeno che con molta rapidità si succedessero, si genererebbero forti rumori, senza adoperare altri solidi, tranne i due capi del sottilissimo filo conduttore del fluido elettrico, ai quali potrebbero sostituirsi delle piccole colonne di mercurio contenute in tubi di materia pochissimo elastica.

343. *Varj modi di destare le vibrazioni sonore nei gas.*—Abbiamo già altrove veduto come nell' aria poteansi destare delle vibrazioni mercè lo scoppio di una polvere fulminante, la percussione di una massa elastica, come un campanello, una campana o un *tam-tam*, o anche mercè le rapide vibrazioni delle corde, delle verghe o delle lamine. Abbiamo del pari fatto conoscere come la sottile falda d' aria che viene ad urtare contro l' ugnatura dello zufolo o della canna d' organo produce una oscillazione in tutta la colonna d' aria addiacente, il cambiamento di pressione che nasce in un punto di questa colonna elastica si comunica rapidamente in tutta la sua estensione, le elasticità molecolari reagiscono le une sulle altre, e la colonna vibra interamente per quell' istessa ragione per cui un cilindro solido vibra in tutta la sua massa quando è colpito in un punto qualunque.

Lo stesso fenomeno si genera nel flauto e nella trottola d' Alemagna, con questa sola differenza, che nel primo caso l' aria è spinta verso gli orli dell' apertura, nell' atto che nel secondo caso è l' apertura stessa spinta contro l' aria mercè la rotazione dello strumento.

Ne' fischi o richiami de' quali fanno uso i cacciatori per imitare il grido degli uccelli (*fig.* 61 e 62), il fenomeno sembra alquanto più intrigato. Anche dalla corrente d' aria nascono le vibrazioni, ma qui la corrente trae seco una parte del fluido contenuto nella cavità dell' istrumento, onde il fluido in tal modo rarefatto, non potendo più reggere alla pressione atmosferica, l' aria esterna si caccerà dentro con forza; allora nuova rarefazione si genera per la corrente, e nuovo ingresso avverrà per la pressione esterna, ec. Laonde tutta la massa d' aria contenuta nella cavità, essendo alternativamente rarefatta e compressa, eseguirà delle vibrazioni che si propagheranno al di fuori.

In simil guisa Savart rende ragione dei suoni acuti e varj che produr si possono soffiando con la bocca. Le labbra sporgenti ed alquanto premute formano in certo modo il fondo concavo del fischio (*fig.* 61); e le vibrazioni avvengono perchè l' aria è alternativamente rarefatta dalla corrente e compressa dalla esterna pressione. Prova che i fenomeni accadono in questa guisa, è che si possono imitare i suoni del fischio soffiando semplicemente in un tubo di vetro chiuso in parte verso una delle sue estremità da un disco di sughero nel cui centro siavi un foro rotondo (*fig.* 63).

La lucerna a gas idrogeno, detta anche *lucerna filosofica,* genera nell' aria un' altra maniera di vibrazioni. Questo strumento fu ideato in Germania, e poscia studiato da Brugnatelli e Pictet; ma io son di credere che il de la Rive di Ginevra sia stato il primo a mettere in disamina il fenomeno che la lucerna presenta (*Journal. de Physiq*, t. 56, c. 165). L' idrogeno essendo acceso all' estremo del sottil tubo di vetro *t* (*fig.* 57), se si avvicini un altro tubo lungo e largo *ab* nella maniera espressa nella figura, si ascolterà un suono molto intenso. Il vapore acqueo generato dalla combustione rapidamente si condensa, e quindi produce intorno alla fiamma una rarefazione o una ma-

niera di vuoto, nel quale l' aria circostante si precipita, e lo stesso fenomeno ripetendosi con somma rapidità, s'intende che debba risultarne un suono la cui intensione e gravità derivano dal volume della fiamma e della grandezza del tubo che la circonda.

Si può da ultimo in una data massa d' aria eccitare de' suoni *per comunicazione*, cioè per mezzo di un altro suono che si generi a qualche distanza. È risaputo che certi tuoni della voce si rinforzano e prendono assai intensione quando son prodotti innanzi ad un vase aperto e di sufficiente grandezza. Allora l'aria del vase vibra, e vibra all'unisono con la voce, cui da forza e chiarezza. E siccome una stessa massa d'aria prende parecchi modi di vibrazione per comunicazione, così basterà produrre da una piccola distanza uno dei tuoni che essa può rendere. Ma il signor Savart volendo dare al fenomeno maggiore regolarità, ha immaginato di congiungere insieme due tubi di gran diametri, i quali strisciassero l'un nell'altro come quelli de'cannocchiali. questi tubi possono trovarsi del tutto aperti da ambi i capi, o pure uno aperto e l'altro chiuso. In tal modo si può far variare a piacimento la colonna risonante, e per conseguenza renderla acconcia a rinforzare il suono prodotto al suo estremo mercè un campanello, una campana o una lamina vibrante. I suoni che ne risultano son forti e rotondi da stordire quando si ascoltan la prima volta. L'apparecchio del Savart è rappresentato dalla figura 95; la gran campana *t* è scossa con un archetto.

344. *Delle modificazioni che può ricevere il suono di una canna per la direzione del vento, per la grandezza e sito della imboccatura.* — Dalle sperienze del signor Savart segue che la direzione del vento non altera in alcun modo i suoni delle canne prismatiche di qualunque specie o anche delle cavità sferiche. In una canna prismatica, per esempio, a base quadrata, serbata la stessa ampiezza alla imboccatura, il suono non riceverà alcun cambiamento, tanto che si prenda per ugnatura l'estremo di una delle parti laterali, quanto uno degli orli della base, e tutte le altre direzioni del vento anche lo stesso suono daranno.

La grandezza ed il luogo della imboccatura hanno per contro un potere grandissimo. Abbiamo già osservato come facendo la imboccatura più larga, aumentando cioè la distanza tra i due labbri, si fa acquistare alla canna una tendenza a rendere il suono fondamentale, e che facendola più stretta si dispone a render quello di ottava. Diverso effetto poi vien generato dalla imboccatura più lunga. Se prendasi, per esempio, una canna prismatica quadrata la cui imboccatura occupi la intera lunghezza del lato della base, si osserverà il suono divenir più grave a misura che l' imboccatura più corta diviene, e abbassarsi fino alla sesta o anche alla settima, specialmente se la canna fosse quasi cubica. Ed è senza dubbio per ottenere un simile effetto che i fabbricanti d'organi allogano a'due lati della bocca delle canne delle piccole lamine di piombo che stringono ed allontanano per avere l'accordo. Queste lamine sono le orecchie; perocchè dicono essi, stanno lì per ascoltare se la canna è in tuono.

345. *Del potere delle dimensioni sulle vibrazioni delle canne.* Abbiamo veduto che la sola lunghezza delle canne aperte o chiuse è cagione del tuono che esse danno, purchè cotale lunghezza sia molto grande per rispetto alla larghezza. Ma quando questa condizione non è soddisfatta, la legge delle vibrazioni è molto più intrigata. Ecco i principali risultamenti cui è pervenuto il signor Savart nelle numerose ricerche che ha fatto sul proposito:

1° Le canne prismatiche rettangolari aventi tutte una imboccatura di lunghezza eguale all'un de'lati della loro base, generano lo stesso tuono, quando le sezioni perpendicolari alla linea d' imboccatura hanno la medesima superficie, e quando in pari tempo le larghezze delle sue sezioni sono per lo meno un sesto delle altezze.

2° Quando si è solo a questa ultima condizione soddisfatto, i numeri delle vibrazioni sembrano essere tra loro come le radici quadrate delle sezioni.

3° I numeri delle vibrazioni delle canne simili e con simili imboccature sono tra loro in ragione inversa delle dimensioni omologhe di queste canne.

Questa legge estendesi anche alle cavità sferiche le cui imboccature sian poste sopra cerchi massimi e vi occupino egual numero di gradi.

346. *Le pareti onde una massa d' aria è circondata hanno un potere sulle vibrazioni.* — È da lungo tempo risaputo per via di ripetute esperienze, che il suono del corno e della tromba derivano dalla materia onde l' istrumento è formato e dal grado d' indurimento che ha ricevuto. Un corno per esempio il quale fosse ricotto senza ricevere alcuna alterazione di forma, non darebbe che suoni molto ottusi. I fabbricanti d'organi conoscono anche questo potere della materia sulla qualità del suono delle canne, e ci assicurano che per fare un cattivo istrumento basterebbe alterare pochis-

simo la natura dello stagno da essi adoperato per le canne di metallo o la natura del legno per quelle di legno. Queste osservazioni restan pienamente rifermate dalle numerose sperienze fatte dal Savart con canne di pergamena più o meno tesa, o di carta più o meno umida. Il Savart ha dimostrato: 1° che in una canna prismatica quadrata dell'altezza di un piede e di nove linee di lato, il suono può discendere oltre un'ottava coll'inumidire sempre più la carta che ne forma le pareti; questa carta è incollata sugli spigoli solidi di un prisma come sopra una specie di telaio; 2° che il suono può abbassarsi di più quando le canne sono più corte; e però esso discende oltre le due ottave delle canne cubiche; 3° che basta far di carta o di pergamena una sola parte della parete di una canna per renderne il tuono sensibilmente più grave. Ci teniam contenti di citare qui cotesti risultamenti essendo agevole d'intendere la maniera di poterli riprodurre per esperienza.

347. *Della riflessione del suono e dell'eco.*— Quando le onde passano da un mezzo ad un altro sono sempre parzialmente riflesse, e lo sono intieramente quando incontrano un ostacolo fisso.

Tanto se la riflessione sia parziale quanto se sia totale accade sempre in una tal direzione che l'angolo di riflessione sia eguale a quello d'incidenza. Coteste leggi generali non possono essere dimostrate se non mercè i principj di meccanica, e noi ci studieremo qui solo di farle intendere. Se *ss'* (*fig* 64) rappresenti la superficie di separazione di due mezzi come per esempio l'aria e l'acqua, ed un'ondulazione sonora venga a cadere sull'acqua per la direzione *di* facendo colla perpendicolare *ip* un angolo *dip*, una parte del moto di questa si trasmetterà alla massa d'acqua, ed un'altra si comunicherà all'aria nella direzione *ir*, di modo che l'angolo d'incidenza *dip* sia uguale all'angolo di riflessione *pir*. Questo fenomeno accade anche secondo la stessa legge, se la superficie *ss'* fosse la superficie di unione de due diversi gas, o di due parti di uno stesso gas di diversa densità, o fosse un piano solido di legno, di pietra o di metallo: in quest'ultimo caso però il tuono riflesso secondo *rid* sarebbe molto più intenso. Per la qual cosa un osservatore posto in qualunque punto della linea *ri* ascolterebbe il suono come se questo avesse origine in *i* o sul prolungamento di *ri*.

Con questo principio si rende ragione dell'eco.

Quando un'eco rimena il suono al punto onde partì, è chiaro che le onde sonore van perpendicolari alla superficie di riflessione, la quale perciò dovrà essere un piano o una superficie sferica il cui centro sia lo stesso punto di partenza del suono. In queste congiunture l'eco può ripetere un numero di sillabe più o meno grande, secondo alcune condizioni facili a determinare. Si sa per esempio che velocemente articolando si possono distintamente pronunziare 8 sillabe in 2"; ora in 2" il suono percorre due volte 340 metri; e però se l'eco si trovi alla distanza di 340 metri invierà successivamente secondo il loro ordine tutte le sillabe, e la prima giungerà all'osservatore dopo 2", cioè nel momento in cui l'ultima sillaba è pronunziata. Da questa distanza l'eco potrà dunque ripetere 7 in 8 sillabe; si citan de'luoghi ove l'eco ripete fino a 14 o 15 sillabe.

Non è punto necessario che la superficie di riflessione sia dura e levigata; perocchè talvolta si osserva in mare l'eco venir da nubi, e specialmente dalle vele delle navi lontani venire l'eco distintissima quando esse sian ben tese.

Le onde sonore debbono anche essere riflesse in atmosfera senza nubi quando il sole spande il più forte calore sulla superficie della terra, perciocchè allora i diversi punti d'una pianura o d'una collina non possono essere egualmente riscaldati, opponendosi l'evaporazione, le ombre ed altre cagioni. Questa ineguaglianza di temperatura genera una moltitudine di correnti calde che montan su, e di correnti fredde che discendono la cui densità non è punto la stessa. E però le onde sonore dovranno parzialmente riflettersi in ogni passaggio da una in altra corrente; e se il suono riflesso non è sì forte da generare l'eco, infievolisce almeno molto sensibilmente il suono diretto. È questa senza dubbio la ragione, siccome ci fa osservare il signor de Humboldt, per cui il suono si propaga sempre a maggiore distanza la notte che il giorno anche in mezzo alle foreste d'America dove gli animali tacciono il giorno ed agitano di notte l'aria con mille strepiti confusi.

Per lo stesso principio si rende anche ragione dell'eco moltiplice, cioè di quello che la stessa sillaba molte volte ripete. Imperocchè potendo un suono essere più volte riflesso, è chiaro che due superficie di riflessione potranno rimandarsi il suono siccome due specchi opposti si rimandano la luce. E però l'eco moltiplice si ascolta tra due torri o tra due mura parallele e lontane. Si facea una volta menzione dell'eco che ascoltavasi presso Verdun, la quale ripeteva 12 o 13 volte la stessa voce; essa era formata da due torri vicine (1).

(1) In un corridoio della nostra specola di Capo-

L'eco finalmente fa talvolta l'nfficio di portavoce; e questo accade sotto le volte più o meno elevate. Supponiamo che la sezione d'una volta secondo un dato piano sia un ellissi *aba'* (*fig.* 65); i cui fuochi sieno in *f* ed *f'*; un suono generato in *f* riflesso da tutta la curva *aba'* andrà a concentrarsi in *f'*; perocchè si sa che nell'ellissi tutti i raggi menati da punti *f* ed *f'* allo stesso punto della curva fanno angoli eguali colla medesima, ovvero con la tangente menata per questo punto, o finalmente colla normale. E però le onde sonore che vanno secondo *fi*, *fi'*, ec., si rifletteranno secondo *if'*, *i'f'*, ec. Laonde se due persone si ponessero una in *f* e l'altra in *f'*, potrebbero ascoltarsi dalla distanza di 50 ed anche di 100 piedi parlando a voce assai sommessa senza che alcun motto possa essere inteso da chi si facesse ad ascoltare da' luoghi intermedj. Nel Conservatorio d'arti e mestieri v' ha una gran sala quadrata che presenta cotesto fenomeno.

La figura 96 rappresenta un apparecchio del signor Weber il quale è molto acconcio a mostrare all' occhio l' effetto della riflessione delle onde; questo è un vase ellittico che contiene del mercurio; le onde generate da un piccol getto di mercurio che cade all' un de' fuochi si propagano e si riflettono all'altro.

348. *Delle superficie nodali che osservansi nelle grandi masse d' aria messe in vibrazione.* — Quando un suono molto intenso e sostenuto si genera in una galleria o anche in una stanza ordinaria, si osserva non esser per tutto egualmente intenso; e in certi punti è forte ed assordante, in altri inve e assai debole; questi ultimi punti son come de' nodi di vibrazioni dove l'aria non soffre che piccoli scuotimenti. Il Savart ha procurato di seguire la traccia di queste linee o superficie nodali, e noi indicheremo solo il metodo da lui adoperato non avendosi sul proposito alcun risultamento semplice e generale. Il suono è generato da un campanello e rinforzato da un tubo, e si va ascoltando in diversi punti della stanza con una maniera di orecchio artificiale composto di un cono slargato, di un meato conico, e di una membrana. *cc'* (*fig.* 60) rappresenta il cono, *tt'* il meato, ed *mm'* la membrana; quest'ultima dev'essere posta sugli orli del meato curvo e disposta in guisa da poter ricevere diversi gradi di tensione. Si dispone l' asse del cono secondo quella direzione per cui si vuole ascoltare, e si giudica della intensione del suono mercè i moti della sabbia onde la membrana si copre nel momento della esperienza.

L'ampiezza della stanza, la sua forma, e tutti gli accidenti delle sue pareti, sono altrettante cagioni dalle quali deriva la varietà di forme e giaciture delle superficie nodali corrispondenti ad una stessa situazione del campanello. Per rispetto poi alla cagione donde propriamente la formazione de' nodi dipende, pare senza dubbio che questa sia da riporsi nello incontro delle onde riflesse; ma finora non si hanno osservazioni tanto numerose e tanto giuste da esserci permesso di esibirne qui una teorica.

dimonte si ha un'eco polisillaba, e nella maggior sala della real biblioteca Borbonica si ha una bellissima eco moltiplice.

CAPO V.

DELLE VIBRAZIONI DI ALCUNI ISTRUMENTI MUSICALI.

349. *Comunicazioni delle vibrazioni sonore tra solidi e fluidi.* — I liquidi ed i gas non ricevono generalmente il lor moto di vibrazione se non colpiti direttamente dai solidi, o almeno per loro mezzo, siccome accade nella sirena e nelle canne; ma ricevuto che hanno questo moto, essi possono a lor posta trasmetterlo a tutti i corpi solidi che incontrano. Così per esempio si vede una corda d'istrumento vibrare tosto che sente il suono che essa può rendere o uno degli armonici di questo, e delle lastre di vetro si scuotono e vibrano fortemente per l'azione di certi tuoni di voce come farebbero per un colpo di cannone. Questo fenomeno che in modo assai spiccato si appalesa sopra i corpi solidi mobilissimi, si genera dei pari nei corpi più inerti e meno elastici, e forse non v' ha un duomo in cui la maggior campana non faccia sensibilmente vibrare alcuni pilastri o altre considerabili masse di fabbriche. Qui ci è permesso di concludere da ciò che si osserva a ciò che non si osserva, e però se una qualunque massa solida può sotto i colpi del martello vibrare e produrre un suono determinato, ne segue che essa vibrerà più o meno quando questo suono attraversando l'acqua o l'aria verrà a colpirla. Si può generalmente concludere che essa vibrerà per tutti i tuoni possibili, perciocchè non ve n' ha alcuno che non possa rendere, sia come tuono fondamentale sia come armonico, qualora venisse convenientemente scossa, per la qual cosa non v'ha suono che la colpisca senza generarvi un certo modo di vibrazione. Se s'incontrasse alcun dubbio sopra questa conclusione generale, basterebbe a dileguarlo l'osservare che il suono generato in un fluido è più o meno facil-

mente trasmesso da qualsiasi massa solida, il che non avrebbe potuto accadere se questa non avesse vibrato all'unisono con esso. Ma sarebbe piacevole il conoscere come il moto si determina secondo le varie obbliquità delle superficie per rispetto alla direzione dell'onda Pochissime esperienze abbiamo sul proposito; il Savart, per esempio, ha dimostrato che una membrana tesa sopra un telaio non vibra nello stesso modo quando le si presenta una lamina sonora perpendicolarmente o parallelamente. Nel primo caso le sue vibrazioni sono tangenziali; nel secondo sono normali come quelle della lamina.

È probabile che i liquidi sieno più efficaci de'gas ad indurre in tal modo delle vibrazioni ne'solidi; e certamente disponendo sull'acqua de'corpi di forme diverse, si potrebbero con la sabbia ravvisare le vibrazioni le quali con lo stesso mezzo non sarebbero sensibili nell'aria.

350. *Comunicazione delle vibrazioni ne'corpi solidi contigui.* — Poichè le vibrazioni si trasmettono dai fluidi, esse dovranno con più forte ragione propagarsi in tutta l'estensione di un sistema solido, le cui diverse parti siano talmente vicine e contigue da non rimanervi la minima interruzione di continuità. Un tal sistema forma un sol tutto, di cui tostochè una parte è colpita, deve come un sol corpo dividersi in parti vibranti separate da linee nodali; ciascuna di queste parti perde in un certo modo la sua individualità, la sua unione colle parti vicine le impedisce di vibrare come se fosse sola, quasi nello stesso modo che una porzione di lamina prende de' modi diversi di vibrazione, secondochè è staccata e colpita a parte o pur resta unita all'intera lamina.

Savart ha fatto molte esperienze intorno a questo argomento, egli ha variato in mille modi gli apparecchi per rendere aperto il fatto generale della comunicazione del moto in tutte le parti di un sistema composto di lamine, di lastre, di campane, di corde, ec. Tra i risultamenti che noi potremo ricavare dalla sua Memoria che si versa intorno a questo subbietto (*Annal. de Phys. et de Chim.* t. 25), sceglieremo in preferenza il seguente esempio atto a rendere aperto il potere della direzione del moto sulla generazione delle linee nodali. Una lamina di legno *a* (*fig.* 83) è fermata per uno dei suoi estremi, e tirata dall'altro da una corda *b* più o meno stirata mercè il bischero *c*; quando la corda è scossa dall'arco, essa rende un suono che si conosce facilmente, e tosto la lamina *a* vibra anch'essa. Per lo stesso suono le linee nodali che essa presenta sulle facce superiore ed inferiore hanno delle attinenze con la obbliquità dell'arco o del piano nel quale la lamina vibra, siccome vedesi nelle figure 84, 85, 86 ed 87, dove *a* è la sezione della lamina, *h* la direzione dell'arco, ed *s* ed *s'* le linee nodali corrispondenti a questa direzione per le facce superiore ed inferiore della lamina. Laonde non solo le vibrazioni si comunicano, ma il verso secondo cui si eseguono deriva da quello onde è tratta la prima molecola che riceve l'azione della corda.

Lo strumento della figura 82 è ordinato a mostrare anche le comunicazioni di moto e le vibrazioni longitudinali che la corda *c* riceve dalla piccola asta *t* scossa con un archetto.

351. *Degli strumenti a linguetta.* — Una linguetta non è altro generalmente se non che una lamina vibrante posta in moto da una corrente d'aria. Supponghiamo per esempio che in una piastra di zinco o di rame (*fig.* 56) di due o tre millimetri di grossezza, facciasi una apertura rettangolare *abcd*, lunga tre centimetri, larga solo sette in otto millimetri, e che ad uno de' suoi lati corti si saldi una lamina di rame *l* sottilissima e molto elastica, la quale possa vibrare su l'anzidetta apertura radendone gli orli *ab*, *bc*, *cd*; si avrà in tal modo la più semplice linguetta (*anche*) (1), e per metterla in moto basterà appoggiare la piastra per lungo verso i labbri, e soffiare verso gli estremi liberi della lamina *l*. L'aria la farà vibrare, e l'apertura *abcd* venendo in tal modo ad essere alternativamente aperta e chiusa, l'aria passerà e si arresterà per intermittenza, d'onde nasceranno delle onde sonore, la lunghezza delle quali deriva dal numero delle vibrazioni che la lamina può compiere in ragion della sua grandezza e della sua elasticità. Il suono è lo stesso di quello che sarebbe se la lamina vibrasse per ispostamento meccanico, ma è infinitamente più intenso. Ponendo sulla stessa piastra molte lamine le quali diano i tuoni della zolfa, si può fare una maniera di strumento atto a suonare delle arie.

I cannelli de'quali si fa uso nelle canne d'organo, derivano dallo stesso principio, ma sono diversamente ordinati. Ivi si veggon due cannelli uniti *t* e *t'* (*fig.* 54), un turaccio *b* che gli separa, e la pivetta *a* particolarmente espressa nella figura 55; essa è composta di

(1) Linguetta propriamente sarebbe la sola lamina vibrante, ma noi intendiamo qui la lamina insieme con la piastra, ch'è il significato del vocabolo francese *anche*, che si potrebbe con alcuni tradurre co' vocaboli *pivetta*, *glotta* o simili.

tre parti principali, il *canaletto r*, la *linguetta l*, e la *molla z*.

Il canaletto è un tubo di metallo di figura prismatica o cilindrica chiuso dalla parte inferiore, aperto dalla superiore, e bucato lateralmente da una apertura che pone in comunicazione i due tubi dall' una e dall' altra parte del turaccio.

La linguetta è la lamina vibrante; questa nella sua giacitura naturale chiude interamente o quasi interamente l' anzidetta apertura, cioè invade le parti co' suoi tre margini liberi nel tempo delle vibrazioni; il suo quarto margine è stabilmente fermato sulla parete del tubo o con viti o mercè di saldature.

La molla finalmente è un filo di metallo ben forte, doppiamente curvato dalla parte inferiore, colla quale preme sulla intera larghezza della linguetta, come vedesi nella figura 55. Questa molle scorre a strofinio entro al turaccio, ed è ordinata, come vedesi, a cambiare la lunghezza vibrante della linguetta, imperocchè al di sopra della molla non vi possono essere vibrazioni.

Il vento del mantice entra per lo piede della canna *t*, preme la linguetta per passare attraverso il canaletto, ed esce pel tubo *t'*. La linguetta in tal modo rimossa per un istante, riducesi tosto alla primiera giacitura mercè l'elasticità di cui gode, e compie per l' azione di queste forze contrarie delle vibrazioni le quali si ripetono finchè dura la corrente d' aria. La figura 54 rappresenta una canna a pivetta, la quale è di vetro di rincontro alla linguetta, affinchè se ne possa osservare il movimento. Il numero delle vibrazioni dalle dimensioni e dalla rigidezza della linguetta principalmente deriva: esso generalmente sarebbe poco diverso, se l' anzidetta lamina vibrasse per intero, meccanicamente spostata. Ma l' ordinamento delle canne dà al suono una qualità ed una intensione notevole, due cose che hanno in questo caso strettissima attinenza: intanto l' intensione deriva specialmente dalla velocità della corrente, e la qualità dalla forma delle canne. E per fermo, s' intende come una corrente più rapida ingeneri nella linguetta vibrazioni più ampie, ma della stessa durata; e però l' intensione del suono cresce con la velocità della corrente, purchè questa non sia sì grande da piegare la linguetta e farvi nascere un nodo di vibrazioni. S' intende poi che la linguetta, le canne, e le masse di aria onde queste son piene, formano un sistema vibrante le cui parti danno al suono una speciale qualità. Affinchè la linguetta *si esprima bene*, e renda un suono pieno e gradevole, è mestieri che le masse d' aria de' tubi sian tali per forma e per ampiezza che si mettano agevolmente all' unisono con la linguetta; ma una tal condizione può essere per ciascun caso soddisfatta in mille modi, e sonosi fatti numerosi saggi per avere in tal modo suoni articolati imitanti la voce umana: si son date al tubo inferiore forme angolate rientranti o diversamente contornate; si è fatto il tubo superiore conico, slargato, enfiato nel mezzo; si son tese delle membrane, ed ordinate delle foglie o lamine di varie sostanze: ognuna di tali modificazioni dà al suono una qualità particolare, ed aggiungi che molte di queste combinazioni ideate dal signor Grénié non sono riuscite interamente senza successo, per aver dalle canne a linguetta certi suoni più o meno simili a quelli delle vocali articolate da voce umana.

Nelle canne d' organo v' ha talvolta un'altra maniera di pivette dette *pivette ad anitra* (*anches canardes*) per cagione della speciale qualità del loro suono; esse differiscono dalle precedenti, perciocchè la linguetta co' suoi margini batte su quelli del canaletto (*fig.* 51, 52 e 53).

Le imboccature del bassone, della cennamella, della chiarina, altro non sono che pivette diversamente formate; in tutti questi strumenti la pressione delle labbra fa le veci della molla.

352. *Degli strumenti a corde.* — Tutti gli strumenti a corde hanno una cassa sonora, ed è risaputo che la qualità del suono deriva dal vario modo onde la cassa è fabbricata. La corda, la cassa, e l' aria onde questa è ripiena, formano anche un sistema vibrante di cui ogni parte dà al suono una particolare qualità. La corda è quella che dà il tuono; tutto il resto dello strumento, ossia tutt' i pezzi ond' esso è composto, debbono porsi all' unisono con esso, e però convenientemente ripartirsi in linee nodali.

E per fermo, è chiaro che l' attinenza che ha la corda con tutto il resto non può alterare il tuono che le appartiene in ragione di sua lunghezza e di sua tensione, imperciocchè punti co' quali essa tocca il ponticello è forza assolutamente che siano nodi, i quali tosto che siano fissati il tuono n' è una conseguenza necessaria. È mestieri che la materia onde la cassa è formata sia tale e di tal forma da poter subito prendere l'unisono con tutte le corde in tutt'i tuoni delle medesime, ed è pur necessario con pari rapidità imprimere le sue vibrazioni all'aria in essa contenuta, e però che questa sia acconcia a riceverle. Queste moltiplici condizioni fanno facilmente intendere quanto sia ma-

lagevole il fabbricare un buon istrumento a corde, come per esempio, un buon violino; imperocchè, dato anche che la materia della cassa vibri perfettamente bene, potrebbe darsi che l'aria in essa contenuta non sia bene acconcia a ricevere queste vibrazioni, e quindi imperfetto dovrà lo strumento riuscire: un poco più di elasticità o di rigidezza nel legno della tavola superiore richiederà certamente una cassa di altra forma, donde accade che due violini egualmente buoni hanno forme sensibilmente diverse, e due violini, tuttochè simili nella loro forma, possono essere in perfezione tanto diversi che uno potrà essere ottimo e l'altro men che mediocre.

Basta talvolta un leggiero cambiamento nelle parti mobili per rendere un violino alquanto migliore o peggiore, imperciocchè le vibrazioni passano dalla corda alla tavola superiore per mezzo del ponticello, e dalla tavola superiore alla inferiore per mezzo dello *spirito*. L'assoluta e la rispettiva giacitura di questi pezzi deve dunque avere qualche influsso sulla facilità con la quale il suono passa dalla corda alla cassa e da questa all'aria. Savart ha fatto varie ed importanti sperienze per rendere sensibile all'occhio, mercè il moto della sabbia, il propagarsi delle vibrazioni nelle diverse parti del violino, ed è giunto così ad indicare i principali uffizi che ciascuna di esse deve adempiere. Intanto il pezzo più semplice deve soddisfare a tante diverse condizioni, ch'egli è quasi impossibile di metterle in disamina; e però se si volesse cambiar questo pezzo per renderlo ad un certo fine più acconcio, esso facilmente diverrebbe men buono per un altro, e forse si perderebbe da una parte almeno tanto quanto si guadagnerebbe dall'altra.

CAPO VI.

DELLA VELOCITA' DEL SUONO NE' DIVERSI MEZZI.

353. *Velocità del suono de' fluidi elastici.*— Newton avea data un'espressione della velocità del suono nell'aria (v. le ultime proposizioni del secondo libro de' *Principj matematici della filosofia naturale*). Cotesta espressione dà un risultamento troppo piccolo, perocchè per essa il suono avrebbe circa $\frac{5}{6}$ della velocità che si ha dall'esperienza. Lo stesso Newton erasi ingegnato di render ragione di cotesta differenza, ma era serbato a de Laplace l'assegnarne la vera cagione. Il moto onde il suono è formato non può in qualunque mezzo propagarsi senza comprimere le molecole alle quali si comunica; e siccome generalmente ogni compressione è accompagnata da svolgimento di calorico, così il de Laplace suppone che questo calorico modifichi la legge di elasticità per cui la propagazione del suono più celere diventa. Se dall'onda condensata ne viene calorico, dall'onda rarefatta è forza che venga freddo, e potrebbe per avventura credersi che questi due contrarj effetti si debbano tra loro scambievolmente distruggere, il che è vero per quello che riguarda la temperatura, perchè in fatti il suono che si propaga nell'aria non ingenera alcun cabiamento nel più sensibile termometro; ma cotesta compensazione di temperatura, non impedisce che avvenga successivamente svolgimento di caldo e freddo tra due vicine molecole, e però che la legge di elasticità non differisca da quella di Mariotte.

Dopo che il de Laplace ha assegnata questa ragione, la riduce a calcolo e perviene alla seguente formola per la velocità di propagazione del suono ne' gas e ne' vapori:

$$v=\sqrt{\frac{gh}{d}\,k},$$

v velocità di propagazione in 1″ misurata in metri: g gravità espressa in metri ossia 9^m, 8088; h altezza della colonna di mercurio stimata in metri e ridotta a 0°, la quale esprime la pressione del gas; d densità del gas, quella del mercurio a zero essendo presa per unità; k, ragione de' due calori specifici del gas, il quale è il quoziente della sua capacità a pressione costante per la sua capacità a volume costante.

Per applicare questa formola all'aria esposta ad una pressione qualunque e ad una qualunque temperatura t, basterà ricordarsi che alla temperatura 0° e sotto la pressione di 0^m, 76 la densità dell'aria per rispetto al mercurio è 10466, 82, e però che alla temperatura t e sotto la pressione h si ha:

$$d=\frac{h}{0{,}76.10466{,}82\,(1+at)},$$

e però

$$v=\sqrt{(9{,}8088.0{,}76.10466{,}82(1+at)k)},$$

e siccome per l'aria $k=1{,}3748$, ne risulta

$$v=327{,}52\sqrt{1+at}$$

per la velocità del suono nell'aria alla temperatura t.

α è il coefficiente della dilatazione de' gas, ossia 0,00375. Si vede che questa velocità non dipende dalla pressione, ma solo dalla temperatura.

La formola precedente darà senza dubbio con la stessa precisione la velocità del suono in tutt' i fluidi elastici, se per ciascuno di essi sia nota la ragione k de' due calori specifici; e per contro, essendo data la velocità di propagazione del suono in un gas, se ne potrà ricavare il valore di k: e qui ci si offre un modo molto semplice per conoscere la velocità del suono in un gas: questo consiste nel far vibrare una canna di conosciuta lunghezza ripiena di questo gas, ed a notare il tuono che ne risulta. Queste sperienze hanno per la teoria del calorico non meno importanza che per l'acustica; e si scorge fino a qual grado di perfezione queste dottrine sono state condotte dal de Laplace, perocchè ora basta che uno sperimentatore ascolti il suono prodotto da una canna vibrante di conosciuta grandezza per poterne ricavare la velocità di propagazione del suono nel gas onde è piena la canna, ed anche la ragione de' calori specifici di questo gas. (Dulong, *Ann. de Chim. et de Phys.* t. 41, p. 113).

354. *Velocità del suono ne' liquidi.* — Il de Laplace ha dato anche la seguente formola per calcolare la velocità del suono ne' liquidi (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. 3, p. 161 e 238):

$$v=\sqrt{\frac{g}{\lambda}},$$

v velocità del suono nel liquido, espressa in metri; g gravità espressa in metri, ovvero 9^m, 8088; λ accorciamento che patisce una colonna orizzontale di liquido di 1 metro di lunghezza quando è compressa in un tubo senza elasticità da un peso eguale al suo.

Per applicare dunque questa è mestieri conoscere λ. E questo non è difficile se si sappia di quanto il liquido si comprime sotto il peso di un'atmosfera, tenendo il metodo da noi altrove dichiarato. E per fermo, l'acqua per esempio comprimendosi per 47,85 millionesimi del suo volume sotto il peso di un' atmosfera, è chiaro che una colonna d'acqua di un metro si comprimerà per 47, 85 millionesimi di metro in un tubo privo di elasticità. L'atmosfera che ha generata questa compressione era una colonna di mercurio di 0^m, 76 di altezza alla temperatura di 10°, avente perciò una densità di 13,544; essa corrispondeva ad una colonna d' acqua di 10, 2934; laonde una colonna d'acqua di un metro darebbe un accorciamento di $\frac{0,000\,04785}{10,2934}$, ovvero 0^m 0000046486, ch' è il valore di λ; sostituendolo nella formola, si trova finalmente che alla temperatura di 10° la velocità del suono nell' acqua è di 1453 metri per ogni minuto secondo.

La formola precedente si può agevolmente in quest' altra trasformare.

$$v=\sqrt{\frac{9,8088.0,76.13,544+1000000}{dc}}$$

d è la densità del liquido per rispetto all'acqua; c la compressibilità del liquido sotto la pressione di un' atmosfera, prendendo i millionesimi per unità. Considerata la formola in tal modo, più non resta che a sostituirvi i valori di d e di c, e poi completare il calcolo. Il risultamento esprime la velocità del suono nel liquido alla temperatura di 10°. Così si perviene a' risultamenti che seguono.

Velocità del suono in diversi liquidi alla temperatura di 10°.

NOMI DEI LIQUIDI.	DENSITA'	COMPRESSIBILITA' sotto 1. atm. stimata in millionesimi del primiero volume.	VELOCITA' del suono in 1" espressa in metri.
Etere solforico.	0,712	131,35	1039
Alcool. . . .	0,795	94,95	1157
Etere idroclorico	0,874	84,25	1171
Essenza di terebintina. . . .	0,870	71,35	1276
Acqua. . . .	1,	47,85	1453
Mercurio. . . .	13,544	3,38	1484
Acido nitrico. . .	1,403	30,55	1535
Acqua saturata di ammoniaca . .	0,9	38,05	1842

L'acqua è il solo di questi liquidi sottoposti ad esperienze dirette. Il signor Colladon ha trovato che la velocità del suono nell'acqua del lago di Ginevra è di 1435 metri per ogni minuto secondo ; questo numero pochissimo differisce dall'altro 1453 che ci vien dato dalla teorica. Per quanto piccola intanto sia la quantità di calorico sprigionata dai liquidi mercè la loro compressione , pure sarebbesi creduto che il risultamento dell'esperienza avesse dovuto alquanto sorpassare quello della teorica.

I numeri della terza colonna sono tutti incerti per cagione della poca sicurezza che può restare intorno alle densità de' liquidi , e dell'altra anco maggiore che riguarda la loro compressibilità ; prendendo per esempio per l'alcool la compressibilità secondo Oersted , si troverebbero 2423 metri per la velocità del suono in questo liquido, in vece di 1157 che si avrebbero per la compressibilità secondo i signori Colladon e Sturm.

355. *Velocità del suono ne' solidi.* — La formola dataci dal signor de Laplace pe' liquidi si applica del pari a'solidi. Se non che pare che in questo ci rimanga alcuna incertezza teorica intorno al modo di determinare la quantità λ ; si concede volentieri che una verga di metallo disposta orizzontalmente si accorcia o si allunga della stessa quantità se venga premuta o tirata secondo la sua lunghezza sempre dalla stessa forza; e poichè più facile riesce ne' solidi il misurare l'allungamento anzichè l'accorciamento, così si pone che nella formola

$$v = \sqrt{\frac{g}{\lambda}}$$

λ dinota l'allungamento che riceve una verga lunga un metro tirata da un peso eguale al suo. Ma l'allungamento non è sempre lo stesso , tanto nel caso in cui la verga sia solo tirata dagli estremi , quanto in quello in cui essa sia tirata da tutt'i punti di sua superficie. Parecchie considerazioni c'inducono a credere che λ così ne' solidi come ne' liquidi debba rappresentare il cambiamento di volume che la verga patisce quando è spinta da forze eguali in ogni punto di sua superficie. Secondo questa ipotesi sarebbe mestieri di prendere per λ i $\frac{3}{2}$ dell'allungamento che la verga riceve quando è semplicemente tirata per gli estremi. E però , seguendo le sperienze de' signori Colladon e Sturm, un'asta di vetro allungandosi di 11 diecimillionesimi tirata da una forza equivalente ad una pressione atmosferica, converrebbe prendere $\frac{33}{2} = 16,5$ diecimillionesimi per lo cambiamento di volume del vetro tirato da ogni punto con questa forza. Riducendo poscia questo volume a quello che sarebbe nel caso di uno stiramento eguale a quello generato da un'asta di vetro della lunghezza di un metro , si troverebbero 4959 metri per la velocità del suono nel vetro.

Le rigorosissime sperienze del Savart (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. 65) di cui abbiamo riferito alcuni risultamenti (*elasticità*), ci permettono di fare altre applicazioni della formola di de Laplace. Cotesti computi sarebbero tanto più importanti in quanto che il Savart ha dato egli stesso le velocità del suono ne' corpi sottoposti all'esperienza; egli ha determinate queste velocità con somma diligenza, valendosi del metodo di Chladni di cui ci rimane a parlare.

Sia v la velocità del suono nell'aria , l la lunghezza di una canna aperta, ed n il numero delle vibrazioni che fa in 1″ quando rende il tuono fondamentale: la lunghezza delle onde da essa canna generate è allora eguale alla lunghezza l della medesima ; per la qual cosa le n vibrazioni avvenute in 1″ formano una lunghezza nl la quale è appunto la velocità v, cioè lo spazio che il suono in 1″ di tempo percorre. Si ha dunque

$$v = nl.$$

Sia v' la velocità del suono in qualsivoglia corpo solido , l la lunghezza di una verga cilindrica o prismatica della stessa materia del solido anzidetto , ed n' il numero delle vibrazioni che questa fa in 1″, quando rende il suono fondamentale, cioè quando vibra longitudinalmente avendo gli estremi liberi ed un nodo nel mezzo : la lunghezza delle onde che desta in questo caso nella propria sostanza è eguale ad l; e però le n' onde generate in 1″ formano una lunghezza $n'l$, che è precisamente eguale alla velocità v' del suono , allo spazio cioè da questo percorso in 1″. Onde si ha

$$v' = n'l.$$

Per mezzo di questa e dell'antecedente equazione si ricava

$$v' = v\,\frac{n'}{n}.$$

D'onde segue che per trovare la velocità v' del suono in una qualunque materia solida , basterà ascoltare il suono fondamentale generato da una verga di questa materia longitudinalmente vibrante, e di paragonarlo al suo-

-no fondamentale di una canna aperta della stessa lunghezza. La ragione di questi suoni moltiplicata per la velocità del suono nell'aria darà per prodotto la velocità che si cercava.

Supponiamo per esempio che si faccia vibrare per lungo una verga o lamina di legno di pino della lunghezza di 8 piedi, tenendola per lo mezzo e stropicciandola verso uno degli estremi con un pezzo di panno asperso di colofonia, e che il suono generato si trovi all'unisono col do_5 del gravicembalo. Ora si sa che una canna aperta lunga 8 piedi rende anche il tuono do_1, onde $\frac{n'}{n} = \frac{do_5}{do_1} = \frac{2^5}{2} = 16$, donde segue che nel legno di pino la velocità è 16 volte maggiore che nell' aria, cioè

$$v' = 340 . 16 = 5440.$$

Dietro una serie di esperienze di simil fatta fu da Chladni compilata la seguente tabella.

Tavola delle velocità del suono in alcuni corpi solidi.

NOMI DELLE SOSTANZE	VELOCITÀ paragonate a quelle del suono nell'aria.
Ossa di Balena	$6 \frac{2}{3}$
Stagno	$7 \frac{1}{2}$
Argento	9
Legno di noce	$10 \frac{2}{3}$
— di tasso	
Ottone	$10 \frac{2}{3}$
Legno di quercia	
— di prugno	
Canne di pippa	10 / 12
Rame rosso	12
Legno di pero	$12 \frac{1}{2}$
— di elce rosso	
— di acero	$13 \frac{1}{3}$
— di acaiù	$14 \frac{2}{5}$
— di ebano	
— di carpino	
— di olmo	
— di ontano	
— di betulla	
— di tiglio	15
— di ciliegio	
— di faggio	16
— di pino	
Vetro	$16 \frac{2}{3}$
Ferro o acciaio	
Legno di abete	18

I numeri avuti dal signor Savart generalmente confermano quelli del signor Chladni. Frattanto il signor Savart ha potuto trovare delle piccolissime differenze derivanti dallo stato molecolare de'pezzi saggiati. Così il rame rosso varia da 11,13 fino a 12,21; l'ottone da 10,40 fino a 10,70; il ferro e l'acciaio quantunque diversi danno 15; il vetro di specchio 16, e quello di tubi 11,86; l'abete del nord 16,39, e l'abete de'Vosgi 16,54.

CAPO VII.

DELLA VOCE E DELL'UDITO.

356. *Della voce umana.* — L'organo della voce è composto di parecchie parti la cui forma e disposizione non si possono ben conoscere senza osservazioni anatomiche. Noi dunque dovremo restringerci ad indicare in un modo generale la disposizione delle diverse parti che direttamente concorrono alla generazione della voce.

Si sa che la *trachea* è una maniera di canna che comincia nella dietro-bocca e mette capo nel polmone. Suo principale uffizio è quello di dar passaggio all' aria tanto nella *inspirazione* quanto nella *espirazione*. Cotesta canna è quasi cilindrica, ed è composta di cartilagini conformate ad anelli chiusi, separati da anelli membranosi e flessibili. Verso la sua estremità inferiore si divide in due branche minori, una delle quali va verso la destra e l'altra verso la sinistra, e queste hanno il nome di *bronchi;* ognuno di questi si dirama successivamente in mille guise nel tessuto polmonare; dalla parte di sopra termina nella *laringe*, la quale par che sia particolarmente l'organo della voce.

La laringe è composta di quattro cartilagini: la *cricoidea*, la *tiroidea* e le due *aritenoidee*. Coteste cartilagini, di forme assai diverse, sono tra loro articolate e legate all'anello superiore della trachea. Parecchi muscoli trovansi ordinati a muover tutta questa unione di cartilagini, ovvero ciascuna per rispetto alle altre. Dalla disposizione di questi muscoli e particolarmente degli ultimi deriva la interna conformazione dell'organo: essi si uniscono a destra

ed a sinistra verso le interne pareti del tubo che forma il prolungamento della trachea, e ne impicciolisconо sempre più il diametro trasversale, in modo da restare alla fine una fessura diretta da dietro in avanti che non è orizzontale ma non inclinata; questa prende il nome di *glottide*, ed ha 8 o 10 linee di lunghezza: i suoi orli diconsi *labbri* della glottide: essi sono dalla parte di avanti molto vicini, ma dalla parte di dietro sono distanti talvolta per 2 o 3 linee; sebbene questa distanza sia molto variabile: sembra che i labbri della glottide possano stringersi in modo da lasciare appena una picciolissima apertura dalla parte di dietro. Al di sopra de' labbri della glottide trovansi due cavità, l'una a destra l'altra a sinistra, le quali si profondano lateralmente per 8 o 9 linee e talvolta anche per 12; queste hanno l'altezza di 5 o 6 linee e sono chiamate *ventricoli*. Le pareti superiori de' ventricoli si avvicinano talmente da formare quasi una seconda glottide 5 o 6 linee al di sopra della prima. Al di sopra della laringe sta una membrana o piuttosto una cartilagine che dicesi *epiglottide*, la quale dalla parte d'avanti è congiunta con uno de'suoi lati alla glottide, sulla quale si può abbassare.

Questa sommaria descrizione della laringe ci sarà bastevole a farci comprendere i principi mercè i quali si suol rendere ragione del formarsi della voce.

Senza allargarci qui in parole narrando la storia delle più o meno vaghe spiegazioni che sonosi date finora; ci starem contenti di riferire due opinioni tra le quali i fisici par che si tengan tuttavia divisi. Gli uni considerano l'organo della voce come analogo agli strumenti a linguetta, e gli altri lo reputano simile a que' fischi detti *richiami* (1).

Per rassomigliare il suono della voce a quello di una linguetta, si suppone che durante l'espirazione l'aria spinta nella trachea e premuta nell'angusto varco della laringe, non possa uscire senza scuotere i labbri della glottide e farli vibrare; questi labbri, si dice, vibrano allora come una linguetta, e perchè son due rendono il suono più intenso: indi l'epiglottide, la laringe, il velo palatino, le fosse nasali, la lingua, i denti, l'apertura della bocca e la disposizione delle labbra, danno al suono in tal modo generato un accento ed una qualità particolare, siccome la canna che segue la linguetta dà secondo la sua forma una particolare qualità al suono generato da questa. Il suono, tuttochè per rispetto alla intensione ed al tuono resti lo stesso, purtuttavia potrà ricevere svariate modificazioni circa l'accento e la qualità, imperocchè tutte le parti delle quali di sopra è detto possono essere in mille guise dalla volontà modificate. Quando di un sol suono siasi renduto ragione, sarà facile la spiegazione di tutte le diverse gradazioni che la voce umana può produrre; perocchè un piccolo moto della molla fa variare la lunghezza della linguetta e fa che il suono si renda più grave o più acuto; basterà dunque che i labbri della glottide si rendano alquanto più o meno tesi perchè la voce percorra più ottave salendo o scendendo: aggiungi che noi abbiamo due mezzi per conseguire questo fine; imperciocchè non solo possiam far variare la tensione de'labbri della glottide, ma possiamo benanche far variare la loro lunghezza, essendo l'apertura della glottide fatta in guisa che con un semplice atto di volontà si può aprir molto o quasi interamente chiudere.

Queste giudiziose considerazioni sembrano sostenute da osservazioni dirette. Il signor Magendie ha scoperto la laringe a'cani vivi ed ha veduto vibrare i labbri della glottide ogni volta che l'animale metteva fuori un grido; in cotal modo ha potuto per le sperienze medesime assicurasi che i labbri della glottide si avvicinano ne'suoni acuti, e per contro ne'tuoni gravi si tengono più o meno lontani. Analoghe sperienze sono state fatte da altri sopra laringi di animali morti di fresco: soffiando nella trachea con un buon mantice si sono avuti de'suoni più o meno simili a quelli che davano questi animali.

Per assomigliare poi il suono della voce a quello de' *richiami*, si considera che i ventricoli della laringe formino una maniera di tamburo pieno d'aria, e che le due glottidi sieno come due corrispondenti aperture fatte nelle due basi del tamburo; in tal modo i ventricoli e le due glottidi formano un vero fischio o *richiamo*. L'aria spinta dai polmoni nella trachea esce con più o men velocità per la laringe, la quale cọi suoi moti trattiene una parte dell'aria contenuta nei ventricoli, e tosto, renduta la pressione troppo debole, l'aria esterna si caccia nelle cavità de'medesimi, indi di nuovo è spinta fuori, ec., appunto come avviene nel fischio o *richiamo*. Coteste alternative generano un suono più o meno acuto a seconda della rapidità con la quale si succedono. Tanto in questa quanto nell'antecedente ipotesi, l'accento e la qualità derivano dalle vibrazioni de'labbri della glottide e da tutte le parti che possono rendere forme e moti diversi, dalla dietro-bocca fino alle labbra.

(1) Altra volta si è disputato per sapere se fosse uno strumento a corda o fiato.

I suoni son diversi per cagione della varia conformazione delle cavità de'ventricoli, e per le diverse dimensioni delle aperture della glottide, o infine per li varj gradi di tensione de' labbri di questa e delle rimanenti parti della laringe e della dietro-bocca. Savart ha fatto parecchie sperienze che sembrano convalidare cotesta ipotesi. (*Ann. de Phys. et Chim.*, *t.* 30, *p.* 64.)

Queste due opinioni sembrano certamente più diverse di quello che sono realmente; ma quantunque legate da strette attinenze, non possono ancora insieme dare una spiegazione compiuta del fenomeno della voce. Esse son da considerare come dei felici tentativi che potranno un giorno guidare al vero.

357. *Della voce degli uccelli.*—Negli uccelli l'organo della voce non è posto nella dietrobocca, ma invece si trova nella parte inferiore della trachea, precisamente dove questa si partisce in due e forma i bronchi. Il Cuvier ha fatto vedere che un'anitra, cui sia stato mozzo il capo, manda ancora per qualche momento de'gridi forti e bene articolati, la quale sperienza si può fare sulla maggior parte degli uccelli. L'osservazione anatomica riferma questo fatto; perciocchè ponendo mente all'organismo della trachea, si trova che dalla parte superiore essa termina in un semplice restringimento, ovvero in una maniera di glottide che non presenta alcuna delle disposizioni necessarie alla formazione del suono, nell'atto che verso la parte inferiore offre un organo intrigatissimo e maravigliosamente conformato per generare molti suoni gravi ed acuti: ma siccome non ci sarebbe possibile di darne un'idea senza entrare in particolari anatomici che ci divierebbero troppo, e siccome d'altronde vi sono ancora grandi difficoltà sulle teoriche proposte fin'ora per render ragione de' fenomeni che derivano da questa organizzazione, noi invieremo i nostri lettori alle opere pubblicate sul proposito, e particolarmente alle memorie del signor Savart. (*Ann. de Phys. et de Chim. t.* 32).

358. *Dell' organo dell' udito.* — La sola parte esterna di quest'organo è il *padiglione a* (*fig.* 98), le cui sinuosità e i dintorni sono, com'è risaputo, l'espansione del *meato auditorio b.* Cotesto meato internatosi fino ad una certa profondità è terminato obbliquamente da una sottil membrana *c* mobile ed elastica, detta *membrana del timpano.* Dietro questa membrana sta la *cassa del timpano*, ch' è una cavità ossea foderata di diverse membrane e piena d'aria; essa è interamente chiusa, fuorchè in una parte dove mette capo la *tromba di Eustachio* che viene dalla dietro-bocca; in tal modo l'aria si può rinnovare e ridursi continuamente in equilibrio con la pressione atmosferica. Nella cassa del timpano si osservano anche due aperture chiuse da membrane, cioè: il *forame ovale v* in alto, ed il *forame rotondo* più basso. Da ultimo entro di questa cassa sta sospesa la *catena degli ossicini dell' orecchio*, la quale è composta di quattro piccole ossa che per la loro forma prendono il nome di *martello*, *incudine*, *osso orbicolare* e *staffa m*, *e*, *l*, *t* (*fig.* 101). Il martello è congiunto longitudinalmente sulla membrana del timpano (*fig.*98 e 100); esso forma una maniera di raggio solido che viene dalla circonferenza al centro. Questo si unisce con l'estremo all'incudine; l'incudine all'osso orbicolare, e questo alla staffa, la quale si unisce alla membrana del forame ovale (*fig*, 98 e 99) : parecchi muscoli operano su questa unione di ossicini tirandola o rallentandola, e però tirano o rallentano anche la membrana del timpano e quella del forame ovale. La membrana del forame rotondo separa la cassa del timpano da un canale osseo volto a spira che dicesi *chiocciola*; l'altro estremo di questo canale si apre in una cavità chiamata *vestibulo.* Il vestibulo è separato dalla cassa del timpano per mezzo della membrana del forame ovale; questo finalmente comunica con tre canali ossei, i quali diconsi *canali semicircolari*, pieni di una materia nericcia di cui s'ignora l'uso. Il vestibulo e le spire della chiocciola sono pieni del *liquido di Cotugno*, nel quale nuotano gli estremi fili del *nervo acustico n*.

Ponendo mente a questa disposizione dell'orecchio, si può intendere che se la tromba di Eustachio non mettesse l'aria aperta in comunicazione con l'aria della dietro-bocca e con quella della cassa del timpano, vi sarebbero delle ineguaglianze di pressione le quali darebbero alla membrana del timpano tensioni diverse: si ascolta in questo caso un susurro più o meno incomodo.

Supponendo che la membrana del timpano abbia una giusta tensione, s'intende che essa vibrerà tosto che sarà colpita da un' onda sonora; e se molte onde ad un tempo la colpiranno, essa si porrà all'unisono con ciascuna di queste appunto come farebbe una membrana inerte. Dopo quello che innanzi si è detto, non si durerà fatica nel figurarsi queste vibrazioni *coesistenti.* Questo è quasi tutto quello che si sa di certo intorno al fenomeno dell' udito.

In quale maniera tali vibrazioni passano nel nervo acustico? Qual è l' uffizio della catena di ossicini, della chiocciola e de'canali semicircolari? Queste, del pari che parecchie altre

quistioni che si propongono su questo subbietto, restano senza essere risolute.

Si sa intanto che la membrana del timpano può esser tolta, e rotta anche la catena di ossicini senza che l'orecchio cessi di adempiere alle sue funzioni: si sá del pari, mercè le sperienze del Savart rifermate da quelle del signor Muller, che la catena di ossicini può servire a moderare l' effetto de' suoni troppo laceranti, o generalmente a far variare la sen sibilità dell'organo facendo variare la tensione della membrana del timpano; imperciocchè se si ascolti un suono per mezzo di un corno acustico chiuso da una membrana *m* (*fig.* 97), si conoscerà che facendo variare la tensione della membrana si proverà una più o meno forte sensazione. È questa sicuramente una importante funzione della catena di ossicini, ma non è sufficiente a fare intendere pienamente la ragione di sua forma: è probabile dunque che sia anche ad altro fine ordinata.

LIBRO SESTO

OTTICA.

NOZIONI GENERALI SULLA PROPAGAZIONE DELLA LUCE.

359. Le più comuni osservazioni ci fan vedere che un *corpo luminoso* spande la luce per ogni verso; la fiamma di una candela, per esempio sarebbe visibile da tutt' i punti di una sfera che avesse l'anzidetta fiamma per centro; dicasi lo stesso di un corpo fosforescente o di una scintilla elettrica. Quello che in piccolo avviene nelle nostre comunali sperienze, si avvera in grande negl' immensi spazi celesti: il sole spande per ogni verso nello spazio lo stesso splendore, e la sua luce risplende nello stesso tempo sulla terra, sopra i pianeti, sulle comete e sopra tutti i corpi del firmamento, sia qualunque il luogo che occupano nella infinita sfera dell' universo.

I corpi luminosi sono necessariamente composti di materia ponderabile; il vuoto, secondo lo abbiam considerato, può propagare la luce, ma non già farla nascere; donde segue che i corpi luminosi si possono dividere in parti di grandezze successivamente minori, e le ultime particelle che possiamo finalmente percepire prendono il nome di *punti lucidi*. Laonde siccome un corpo ordinario e un radunamento di molecole e di atomi, così un corpo luminoso è l' unione di punti lucidi.

360. *In un mezzo omogeneo la luce si propaga sempre in linea retta.* — Ordinando sopra una lunga riga tre dischi forati ne' centri da picciolissimi buchi, si vedrà da molta distanza la fiamma di una candela, o questa si perderà tosto di vista secondochè i tre buchi siano o no in linea retta.

Quando la luce incontra un vetro levigato o uno specchio metallico *m'* secondo la linea *li*, per esempio (*fig* 130), è rimenata in dietro per un' altra direzione *ik* e seguita a muoversi in linea retta secondo questa direzione, purchè attraversi un mezzo sensibilmente omogeneo.

Cotal deviamento della luce che incontra delle superficie levigate prende il nome di *riflessione*.

361. *In un mezzo eterogeneo la luce va sempre per una curva.* — Quando la luce passa dall' aria nell' acqua, o da questa in quella, notevole è il *deviamento* che soffre: e per renderlo aperto basterà prendere un vase *v* (*fig.* 131), porre l' occhio in *o* in modo che appena si vegga il margine di una moneta *m*, restando il rimanente nascosto dall' orlo *b*, e poi versare dell' acqua nel vase: si vedrà la moneta apparire tanto più verso il centro per quanto più si eleva il livello dell' acqua, fino ad osservarla per intero quantunque si trovi tuttavia nascosta dietro l'orlo del vase. La luce dunque non va in linea retta dalla moneta all' occhio, ma si propaga per dritto nell' aria e nell' acqua, perchè ciascuno di questi mezzi è sensibilmente omogeneo in una grossezza così poco considerabile, e più appresso dimostreremo che essa va per una *linea piegata* simile ad *m i o*.

Per cagione dell' atmosfera noi vediamo gli astri prima che spuntino realmente, e continuiamo a vederli anche dopo il loro tramonto; è questo un fatto simile all' antecedente, perocchè noi per mezzo dell' acqua vediamo la moneta *m* quantunque sia nascosta dietro gli orli del vase del pari che gli astri lo sono dietro le montagne o le pianure ond' è terminato il nostro orizzonte: con questa sola differenza, che la luce traversando le diverse falde dell' atmosfera, non incontrando de' subiti cambiamenti di densità, non si piega così di botto siccome fa quando passa dall' acqua nell' aria, e però va per una linea curva invece di percorrere una retta piegata.

A questo deviamento che la luce patisce attraversando mezzi eterogenei si è dato il nome di *rifrazione*.

362. Un *raggio luminoso* è la direzione secondo la quale la luce si propaga. — Un *pennello* è la riunione di più raggi vi ini. — Un

fascio è la unione di più raggi o pennelli vicini separati.

Se da qualsivoglia punto della fiamma di una candela si considerino delle linee rette tirate secondo tutte le direzioni, per ognuna di queste rette procederà un raggio di luce, perocchè questa si propaga appunto per ogni verso ed in linea retta; ma scostandosi molto dalla fiamma, il mezzo sarà sensibilmente eterogeneo, i raggi cominceranno a curvarsi, e le linee rette di prima non rappresenteranno più le direzioni di questi.

Quando la luce si diffonde in un mezzo omogeneo partendo da un punto luminoso e si riceve sopra qualsivoglia superficie, si suol dire che questa sia illuminata da un pennello luminoso, quando è piccola, e da un fascio luminoso quando è più grande. Questa superficie e allora considerata come la base di un cono che abbia il punto luminoso per vertice; e la luce del pennello o fascio è appunto la luce compresa nel cono. Ma quando la luce passa in un mezzo eterogeneo, tutt' i raggi di uno stesso fascio cominciano a propagarsi per linee curve, le quali sono ordinariamente diverse; e però allora non si può più dire con ragione che il fascio di luce sia un cono retto.

Un pennello o fascio di luce è naturalmente *divergente*; la sua sezione cioè cresce con la distanza dal punto luminoso. E pure quando il punto lucido è lontanissimo il fascio si dice *parallelo*, perocchè allora tutte le sezioni sono sensibilmente eguali, o che vuol dire lo stesso, tutt' i raggi sono sensibilmente paralleli. Così, per esempio, la luce che ci viene dal centro del sole è un fascio parallelo, perocchè due linee che partono dalla superficie della terra distanti tra loro per qualche pollice o anche per qualche lega e vannosi ad incontrare nel centro del sole, sono due linee parallele.

I fasci di luce naturale convenientemente modificati possono diventare *fasci convergenti*, i cui raggi cioè sian menati per tali direzioni da riunirsi nello stesso punto. Questo punto ove tutt' i raggi di uno stesso fascio si uniscono, chiamasi *fuoco*. Ma qui è mestieri notare che questi raggi, dopo di essersi così riuniti, continuano, ciascuno secondo la propria direzione, come se fossero isolati, donde segue, al di là del fuoco aversi un fascio divergente come ogni altro fascio naturale.

363. *La intensione della luce di un punto luminoso decresce secondo che si aumenta il quadrato della distanza.* — È risaputo che le sezioni ab ed $a'b'$ di un cono retto (*fig.* 132) sono tra loro come i quadrati delle distanze sc, sc', dal vertice; essendo per esempio sc' doppia di sc, la sezione $a'b'$ sarà quadrupla della sezione ab. Or questo cono essendo un fascio luminoso, è chiaro che la luce che si spande sopra ab è la stessa di quella che si spande sopra $a'b'$; e perchè qui è sparsa sopra una superficie quadrupla, ne dovrà illuminare ciascuna parte con una intensione quattro volte minore.

Questa proposizione non può essere perfettamente applicata ad un corpo luminoso molto vicino. Imperciocchè il punto s' non illumina nullamente ab nell' atto che illumina $a'b'$, ed i punti compresi tra s ed s' manderebbero più luce in $a'b'$ che in ab; e perciò un corpo luminoso che s' estendesse da s fino ad s' spanderebbe sopra ab una luce non quadrupla di quella che spanderebbe sopra $a'b'$.

361. I corpi che non sono per se stessi luminosi, si dividono in corpi *opachi*, come legni, pietre, metalli; in corpi *diafani* o trasparenti, come aria, acqua, vetro; ed in corpi *traslucidi*, come la carta sottile ed il vetro smerigliato.

I corpi *opachi* non danno passaggio alla luce; ma l' opacità ha sempre una dependenza dalla grossezza, perocchè tutt' i corpi quando son ridotti in lamine o foglie molto sottili acquistano una certa trasparenza: per la qual cosa guardando attraverso di una foglia di oro incollata su vetro si osserva una certa luce verdastra molto sensibile o che al di là di essa vi sia una fiamma o che vi sia la luce del cielo o delle nubi.

I corpi *diafani* dan passaggio alla luce, e noi vediamo assai bene attraverso di essi tutte le forme degli obbietti. I gas, i liquidi e la maggior parte de' corpi cristallizzati sembrano in generale perfettamente diafani quando sono in piccole masse; imperocchè essendo essi affatto privi di colori, non solo ci fanno vedere le varie forme degli obbietti, ma benanche tutte le gradazioni delle loro tinte. I corpi intanto più diafani diventano colorati quando hanno una sufficiente grossezza, il che dimostra che essi assorbono allora una parte della luce che gli attraversa. Così una goccia di acqua è perfettamente limpida, nell' atto che una massa di acqua ha un sensibilissimo verde tendente al turchiniccio.

I corpi *traslucidi* lasciano passare una parte della luce che ricevono, ma non ci vien fatto di discernere attraverso a' medesimi nè il colore, nè la distanza, nè la forma degli obbietti. Nel comune linguaggio col vocabolo *trasparente* s'intendono tanto i corpi traslucidi quanto i diafani.

365. *Dell'ombra e della penombra.* —Quando un corpo opaco è illuminato da un sol punto lucido, è agevole il determinare la figura dell'ombra che ne deriva: e per fermo, se una retta la quale passi per lo punto luminoso faccia una intera rivoluzione intorno del corpo sempre radendo il contorno di esso, questa descriverà una maniera di superficie conica il cui prolungamento al di là del corpo segnerà il dintorno dell'ombra (*fig.* 133). È mestieri per altro avvertire che quest'*ombra geometrica* non coincide giammai con l'*ombra fisica*; imperciocchè la luce va soggetta alla *diffrazione*, sembra cioè d'*inflettersi* passando presso agli estremi de' corpi, e l'effetto della diffrazione è sempre tale da ridurre più o meno luce nell'ombra o per contro questa in quella.

Quello che per un sol punto luminoso si è detto, si applica anche alla unione di molti, ma distinguesi allora l'*ombra* dalla *penombra*. L'ombra è sempre lo spazio in cui non cade luce, e la penombra risulta da que'punti dello spazio i quali sono nell'ombra per rispetto ad alcuni punti luminosi, ma ricevon luce dagli altri.

La luce che entra per piccolo foro in una camera oscura, cioè in uno spazio perfettamente chiuso, presenta del pari de' fenomeni di ombra e di penombra. Essendo per esempio *v* (*fig.* 134) il bucolino fatto nell'imposta, il fascio che viene dal punto luminoso *s* e che penetra nella camera è un cono indefinito avente *s* per vertice e *v* per base. La superficie di questo cono è il limite geometrico che separa la luce dall'ombra assoluta; ma in questo caso come nell'antecedente l'ombra fisica non coincide punto con l'ombra geometrica, imperciocchè si osserva la luce al di fuori del cono e l'ombra al di dentro. Per farsi un'idea più chiara di questo fenomeno di diffrazione, supponghiamo che il buco sià circolare ed abbia il diametro di due o tre millimetri, che il punto luminoso mandi solo luce rossa, e che al fascio si presenti un ampio quadro bianco *t* alla distanza di due o tre metri dal buco entro la camera; allora in vece di avere su questo quadro *t* un'impronta circolare *t* rossa e dintornata da ombra perfetta come *b*, si avranno al contrario degli anelli alternativamente rossi e neri tanto al di dentro, quanto al di fuori della base geometrica del cono luminoso. Quando il punto luminoso manda la luce bianca comune, allora in vece di queste alternative di luce e di ombra, si osservano semplicemente degli anelli colorati dove varie tinte a piccoli intervalli si succedono. Un foro assai grande simili fenomeni produce, ma solo assai presso al limite geometrico dell'ombra. Noi intanto dobbiamo per ora prescindere da questi notevoli effetti, e supporre da prima che la luce si diffonda geometricamente per linea retta, senza patire alcun cambiamento o diffrazione presso agli orli dei corpi.

In questa ipotesi dando ogni punto luminoso un fascio rotondamente diviso dall'ombra, è chiaro che molti punti luminosi come *s*, *s'*, *s''* (*fig.* 135) dovrebbero mandare nella camera oscura dei fasci i quali si diffonderebbero come se fossero isolati, e che risulterebbero degli spazj variamente illuminati. In *a*, per esempio, arriverebbero de' raggi provenienti da tre punti luminosi, in *c* de' raggi provenienti da due, ed in *d* de' raggi provenienti da un solo; e gli spazj *e* sarebbero perfettamente nell'ombra del pari che l'esterno spazio *f*.

Ma se si supponga che *s's''* sia il diametro di un disco tutti i punti del quale siano egualmente lucidi, vi sarà nella camera oscura un grosso fascio *bb'* composto di un infinito numero di piccoli fasci, i quali vengono da altrettanti punti diversi; ed il cerchio che ha *bb''* pe' diametro si troverà disugualmente illuminato ed in tutt'i suoi punti. Volendo conoscere, per esempio, qual è la luce che arriva in *k*, è mestieri allora considerare questo punto come il vertice di un cono avente per base l'apertura *v*, e tutt'i punti del disco luminoso che verrebbero compresi da questo cono prolungato daranno luce al punto *k*, e gli altri no.

Tutto questo potrebbe applicarsi al disco solare, se non che in vece di fasci conici vengono da tutt'i punti di quest'astro de' fasci paralleli (*fig.* 136): *c* è il fascio che viene dal centro, *s* quello che viene dall'orlo superiore, ed *s''* l'altro che viene dall'orlo inferiore. L'angolo *sos'* è di 32' circa, imperocchè sotto quest'angolo noi vediamo il disco solare. Essendo dato un punto *k* sopra una sezione *bb'* del fascio della camera buja, è facile per le cose dette trovare quali sono i punti del sole che vi spandono i loro raggi, e sarà agevole il determinare a quale distanza dalla imposta il punto centrale *m* o qualunque altro non può più riceve i raggi degli orli.

Anche gl'ingegni meno perspicaci osserveranno una quantità di fenomeni de' quali si rende ragione mercè le idee antecedenti. Ne additeremo qui alcuni per servire di esempî.

1.° Quando in una camera oscura si fa per piccolo foro di qualsivoglia figura entrare un fascio di luce solare, questo segnerà sempre un'immagine perfettamente rotonda cadendo

perpendicolarmente sopra un piano posto ad una certa distanza dalla imposta. Supponghiamo, per esempio, che il foro *a* sia quadrato (*fig.* 137): ogni punto del sole invia nella camera un fascio quadrato la cui sezione perpendicolare è sempre eguale ad *a*, e per avere il contorno dell'immagine si consideri che uno degli anzidetti fasci giri entro il foro radendo l'orlo dell'astro. Laonde quando l'immagine sarà ricevuta ad una distanza molto grande per rispetto alla grandezza del foro, il suo perimetro somiglierà quello del corpo luminoso, sia qualunque la figura del foro. In tempo di ecclissi l'immagine del sole nella camera oscura è talvolta anulare, talvolta scema, ec.: essa somiglia sempre la parte del disco solare scoperta. Simili fenomeni si osservano sotto l'ombre degli alberi fronzuti ed alti: i raggi che passano tra le foglie vanno a dipingere sul terreno le immagini del sole *ellittiche* quando cadono obbliquamente, e rotonde quando cadono perpendicolarmente. In tempo di ecclissi queste immagini prendono anche diverse figure a seconda della obbliquità del suolo.

2.° In una bella notte serena tutte le stelle che brillano nella volta celeste dipingono le loro immagini entro una camera oscura il cui buco sia piccolissimo. E per fermo ogni stella manda nella camera sopraddetta un fascio parallelo le cui sezioni parallele alla imposta sono eguali al foro; questi fasci cadendo sopra una superficie bianca variamente inclinata generano immagini di cui è facile determinare la grandezza ed i dintorni.

3.° Di giorno si vede entro una camera oscura la immagine rovescia del cielo, delle nubi, dell'orizzonte e di tutti gli obbietti che sono dinanzi al piccol foro. Ciascun punto di albero, per esempio, manda un fascio quasi parallelo la cui sezione è di un millimetro se tanto è grande il diametro del foro. Per la qual cosa sulla parete o sopra il piano della camera oscura i fasci *a* e *b* di due punti vicini (*fig.* 138) in parte si soprappongono, e tanto più per quanto più il piano è vicino al buco; nell'atto che i fasci *a* e *c* di due punti alquanto lontani si separano l'uno dall'altro per formare distinte le immagini di questi punti. Si avrà dunque una immagine rovescia del tutto, la quale sarà sempre alquanto confusa verso i margini, ma tanto meno confusa per quanto più piccolo sarà il foro ed il piano più distante da esso. Sulla figura 138 si ravvisa anche la cagione del rovesciamento.

366. Da quel che abbiamo detto innanzi possiamo già farci una certa idea del fenomeno della visione. L'occhio, siccome vedremo, è uno strumento che somiglia ad una camera oscura: l'apertura della pupilla dà passaggio a' raggi della luce, ed il tessuto nervoso della *retina* che veste il fondo dell'occhio fa le veci della parete sulla quale le immagini si pingono: ma affinchè ciascun punto dell'obbietto esterno colpisca un sol punto della retina, dietro la pupilla trovasi un corpo quasi solido in forma di lente, chiamato *cristallino*, il quale concentra i raggi di un medesimo fascio e li mena sullo stesso punto della retina. Per la qual cosa quando noi guardiamo un corpo lontano, vediamo ciascuno de' suoi punti mercè due coni di luce opposti per le loro basi: il primo di questi coni è *divergente*, ed ha il vertice nel punto in cui guardiamo, e la base ampia quanto la pupilla; il secondo è *convergente*, ed affinchè la visione sia netta si richiede che il suo vertice cada giusto sulla retina. Questa è la disposizione organica, tanto semplice nel suo principio e tanto maravigliosa pe' suoi particolari, mercè la quale tutti gli obbietti di una vasta campagna si vengono a dipingere in un momento impercettibile sulla retina con tutta la varietà di loro forme e la vivacità dei loro colori.

Siccome noi giudichiamo della situazione di un punto nello spazio dal luogo che la sua immagine occupa sulla retina e dalla direzione che diamo all'occhio per riceverla, così per una continua assuetudine noi supponghiamo sempre che il punto da cui ci pervengono i raggi sia posto al vertice del cono esterno che può direttamente far nascere il cono di luce interno. Da questo principio dei giudizî abituali derivano tutte le illusioni ottiche riguardo alla situazione degli obbietti (1). Così il punto *a* (*fig.* 139) dà la sua immagine in *a'* mercè i due coni opposti *pap'* e *pa'p'*. Ma se la luce in vece di venire all'occhio in linea retta sia piegata o deviata da una cagione qualunque, un punto che trovasi per esempio in *b* o in *c* potrebbe far nascere lo stesso cono interno *pa'p'* e la stessa immagine *a'*, ed allora noi falsamente giudicheremmo che questi punti sieno in *a*, senza che vi sia alcuna ragione per farci uscire di questa illusione; imperocchè i fasci

(1) Ma perchè quantunque ogni volta che vediamo il remo immerso nell'acqua lo giudicassimo intero e non rotto, pur tuttavia continua ad apparirci rotto? pare dunque che i giudizj non abbiano il potere di alterare le sensazioni; come pretendono alcuni filosofi co' quali l'Autore è di accordo. A me pare più ragionevole il dire che noi sentiamo gli esterni obbietti secondo alcune leggi di nostro sentire, le quali possono essere conosciute facilmente, ma difficilmente spiegate.

di luce de' punti *b* e *c* venendo finalmente a confondersi nella loro direzione con quelli che sarebber venuti al punto *a*, in nessun modo possiamo conoscere il diverso sentiero da'medesimi percorso. Si può dunque dire con verità che per l'organo della vista *noi giudichiamo sempre* in linea retta, e che i nostri giudizj sono necessariamente erronei sempre che la luce soffre nel suo cammino il più piccolo deviamento in tutto quel tratto che separa l'occhio dall'obbietto.

367. ***La luce si diffonde con celerità sì grande che viene dal sole alla terra in* 8′ 13″.** -- Dalle osservazioni degli ecclissi del primo satellite di Giove, Roemer fu indotto a questa importante scoperta negli anni 1675 e 1676, perocchè non ci volle meno di un anno per assicurarla bene. Dalla figura 140 si potrà acquistare un'idea di queste osservazioni: sia il sole in *s*, *tabmcd* rappresenti l'orbita della terra, ed *j* la posizione di Giove. Supponghiamo che Giove stia nel piano dell'ecclittica siccome è significato nella figura, che si tenga immobile durante un'intera rivoluzione della terra, e che il primo satellite giri nel cerchio *eigh*; cotesto cerchio, il diametro di Giove, ed il cono ombroso che dietro di se questo pianeta projetta, sono espressi molto più in grande. Per una metà dell'anno nel tempo in cui la terra percorre la parte *tabm* di sua orbita, possiamo osservare le *emersioni* del primo satellite, il momento cioè in cui esce dall'ombra; e durante l'altra metà possiamo osservare le *immersioni*, cioè i momenti in cui si nasconde nell'ombra. Il tempo che passa tra due immersioni o emersioni sussecutive è la durata di una rivoluzione. Sia qualunque il punto dell'orbita terrestre dal quale le osservazioni si facciano, cotesta durata è sempre di 42^h 28′ 35″, ossia di ore $42\frac{1}{2}$ circa. E però se dal punto *a* per esempio osservisi una emersione in un dato momento, si può predire che la centesima emersione seguente accadrà precisamente dopo 106 volte 42^h 28′ 35″, e che sarà veduta dal punto *b* dove il globo terrestre sarà allora giunto mercè il suo moto di trasferimento. Ma per esperienza si trova che ciò accade sempre *alquanto più tardi;* si conchinde perciò che questa differenza è appunto il tempo che la luce impiega per andare da *a* in *b*; la velocità dunque di propagazione si ha dividendo la distanza conosciuta *ab* per lo ritardo osservato. Cotesta conchiusione trovasi avverata durante la seconda metà dell'anno; imperocchè se osservisi per esempio dal punto *c* una immersione, la 100^a seguente dovrà avvenire dopo 100 volte 42^h 28′ 35″ quando il globo terrestre è giunto in *d*. Ma l'esperienza fa conoscere che ciò accade *un poco prima*; questa anticipazione dunque è precisamente il tempo che la luce mette per passare da *d* in *c*. Da simili osservazioni spesso ripetute si è potuto con sicurezza inferire che la luce in 1′ percorre 80000 leghe ovvero 79572 leghe di 4000 metri, e che in 8′ 13″ viene dal sole fino alla terra.

Premesse tali cose, agevole riesce di trovare il tempo in cui la luce va dal sole a ciascun pianeta. Ecco la tavola de' risultamenti:

PIANETI	DISTANZE MEDIE de'pianeti dal sole in leghe di 4000 metri	TEMPO in cui la luce va dal sole a ciascun pianeta.
Mercurio . .	15,185,465	0^h 3′ 10″
Venere. . .	28,375,600	0 5 56
Marte . . .	59,772,960	0 12 71
Vesta . . .	92,705,600	0 19 25
Giunone . .	104,755,000	0 21 57
Cerere . . .	108,555,500	0 22 41
Pallade. . .	108,738,000	0 22 46
Giove . . .	204,100,280	0 42 45
Saturno . .	374,196,310	1 18 23
Urano . . .	752,540,172	4 9 48

Il tempo in cui la luce viene per esempio da Urano alla terra è or più or meno di 4^h 9′ 48″ secondo le rispettive posizioni di questi due pianeti; ma si può dire senza grave errore che l'astronomo vede il globo di Urano dove trovavasi 4^h innanzi, e che se cotesto pianeta fosse in un dato momento annientato egli ancor lo vedrebbe per altre quattr'ore dopo che avrebbe finito di avere esistenza.

Noi non sappiamo quanto le stelle sien lontane dalla terra, ma sappiamo che non ve n'ha alcuna che sia men lontana di 200000 volte la distanza che passa tra il sole e la terra; la loro luce dunque per arrivare a noi impiega almeno 200000 volte 8′ 13″, cioè 1141 giorni, ossia 3 anni e 45 giorni; non è certamente strano il dire che noi vediamo anche delle stelle che sono per qualche migliaio di volte più lontane, la cui luce perciò arriva a noi dopo alcuni secoli. Tutto quello dunque che trovasi al di là del nostro sistema planetario potrebbe essere confuso guasto o annientato, e noi meschini abitatori terrestri continueremmo tuttavia, come ora facciamo, per molti anni a contemplare quel grandioso spettacolo di ordine e di magnificenza, il quale sarebbe solo una ingannatrice illusione, una pura apparenza priva di realità.

La materia ponderabile pare che non possa esser suscettiva di velocità così grande come quella della luce.

368. Per dare opera intanto allo studio dell'ottica, allo studio cioè delle varie modificazioni che la luce può ricevere da' corpi, noi farem distinzione tra le proprietà spettanti solo alla direzione de' raggi luminosi, e quelle che sono essenziali ai medesimi senza avere alcun riguardo alla loro direzione. Le prime saranno comprese sotto la denominazione di *luce non paralizzata*, e di *luce paralizzata* le seconde.

PARTE PRIMA

LUCE NON POLARIZZATA.

CAPO PRIMO.

DELLA CATOTTRICA, OVVERO DELLA RIFLESSIONE DELLA LUCE.

369. *Della riflessione della luce sopra una superficie piana.* — Se in una camera oscura si faccia entrare un fascio di luce solare *ll'* (*fig.* 141) che cada sopra un forbito specchio metallico *mm'*, si osservano generalmente due notevoli fenomeni: 1° in una data direzione si osserva un fascio di luce *rr'* che sembra partire dallo specchio e che pinge sopra i corpi in cui s'imbatte una luminosa immagine del sole: tutt' i raggi di questo fascio diconsi *regolarmente* riflessi; 2° da varj punti della camera si vede la porzione dello specchio sulla quale la luce cade: i raggi *id*, *id'*, *id''*, che vanno così per ogni verso, sono raggi *irregolarmente* riflessi, e danno maggiore splendore se lo specchio sia men levigato.

L'angolo *lip* che un raggio incidente *li* fa con la perpendicolare *ip* elevata dal punto d'incidenza *i*, *angolo d'incidenza* viene denominato.

L'angolo *rip* che un raggio riflesso *ri* fa con la perpendicolare *ip* elevata dal punto d'incidenza, si chiama *angolo di riflessione*.

Il piano formato dall'angolo d'incidenza è detto *piano d'incidenza*.

Piano di riflessione si dice quello formato dall'angolo di riflessione.

Tali definizioni si applicano a tutt' i raggi incidenti e riflessi; ma noi per ora dobbiamo solo discorrere della *riflessione regolare*, le cui leggi sono le seguenti:

1.° *Il piano di riflessione coincide con quello d' incidenza.*

2°. *L'angolo di riflessione è eguale a quello d' incidenza, ed è situato all' altra parte della perpendicolare.*

Coteste due capitali verità possonsi con una sola esperienza dimostrare, la quale esperienza accade spesso agli astronomi di ripeter con istrumenti della più grande perfezione.

Intorno al centro *c* di un gran cerchio verticale *vv'* (*fig.* 142) gira un cannocchiale *l* col quale si osservano le stelle. Si fa prima un'osservazione con la luce diretta *ed*, indi un'altra con la luce *e'ir* riflessa sulla quiete superficie di un vase pieno di mercurio, e si trova costantemente che l' angolo *dcp* è uguale all' altro *pco'*. Or le verticali *pc* ed *ip'* essendo parallele, del pari che i raggi *ed* ed *e'i* i quali vengono dalla stessa stella, è chiaro che gli angoli *dcp* e *pco'* sono rispettivamente eguali agli angoli *e'ip'* e *p'ir*, e che per conseguenza questi sono tra loro eguali; ed è del pari manifesto che il piano *e'ip* d' incidenza coincide con quello di riflessione *p'ir*.

Non è punto necessario il dimostrare direttamente che il raggio *ir* proviene da *e'i*, imperocchè al punto *i* non può cadere che un sol raggio parallelo ad *ed*.

Coteste due leggi della riflessione della luce sono affatto generali, nè patiscono alcuna eccezione; esse son vere per la luce naturale che ci viene dagli astri e per la luce artificiale proveniente dalla combustione, dalle azioni chimiche, dalla fosforescenza, dall'elettricità, ec.

Per questi principj è facile il rendere aperto

che gli specchi piani ci debbano mostrare le *immagini* degli obbietti, e che quelle debbano essere sempre con questi simmetriche per rispetto al piano dello specchio.

E per fermo, sia *mm'* uno specchio piano (*fig.* 143) ed *l* un punto luminoso; si abbassi dal punto *l* una perpendicolare *lk* alla superficie dello specchio o al suo prolungamento, e si produca per altrettanto al di là dello specchio stesso: sarà l'estremo punto *l'* simmetrico al punto *l*. Ma meniamo una linea *l'ir* in qualsivoglia punto dello specchio ed un'altro *li* allo stesso punto, gli angoli *lik* ed *l'ik* essendo eguali, lo saranno eziandio gli altri *lip* ed *l'ip'*; l'angolo *rip* dunque verticale ad *l'ip'* sarà eguale ad *lip*; onde il raggio che cade secondo *li* deve riflettersi secondo il prolungamento di *l'i*. Quello che è vero di questo è vero benanche di tutti gli altri raggi; e quindi finalmente *i raggi del fascio riflesso rir'i hanno quella direzione che avrebbero se partissero dal punto l' simmetrico al punto l.*

Supponghiamo ora che l'occhio pongasi in *o* entro il raggio riflesso, e che *rr'* rappresenti l'apertura della pupilla. Il piccol pennello di luce che cade nella pupilla è perfettamente diretto come se prevenisse dal punto *l'*; e però mercè di questo l'occhio vede il punto luminoso in *l'* senza avere una ragion di credere che la luce venga dal punto *l* e che siasi piegata in *ii'* per riflessione.

Dicasi lo stesso per tutt'i punti di qualsivoglia corpo luminoso, ed intenderassi che la fiamma di una lucerna per esempio posta in *bg* (*fig.* 144) si deve vedere in *b'g'*, perocchè la cima *s* si deve vedere in *s'*, il punto *b* in *b'*, il punto *g* in *g'*,ec. I corpi non luminosi ma illuminati presentano gli stessi fenomeni, imperciocchè la luce che è irregolarmente riflessa parte da ciascun punto di lor superficie come se venisse da punti luminosi.

Le immagini dunque non sono già rovesciate, siccome altri dice, ma *simmetriche* agli obbietti, il che non è mica la stessa cosa.

Per descrivere generalmente un' immagine simmetrica ad un corpo per rispetto ad un piano, è mestieri abbassare al piano suddetto delle perpendicolari da ciascun punto del corpo e produrre ciascuna per quanto essa è, al di là del piano medesimo; la superficie che passa per tutti gli estremi di queste perpendicolari prolungate è appunto la immagine simmetrica del corpo.

Se vi fossero delle superficie di riflessione perfettamente levigate, l' occhio non potrebbe ravvisarle nè supporne l' esistenza; imperciocchè i corpi si veggono per la luce irregolarmente riflessa sulla lor superficie, e tutt' i raggi regolarmente riflessi fan vedere i punti luminosi onde partirono non già i punti sopra i quali furono riflessi. Se il globo lunare, per esempio, fosse levigato come un globetto di mercurio, a noi non verrebbe fatto di vederlo, ma vi vedremmo in vece l' immagine del sole che lo illumina.

In uno stesso mezzo perfettamente omogeneo la luce può muoversi indefinitamente senza patire la più piccola riflessione regolare; ma sempre che va per passare da un mezzo ad un altro, va soggetta ad una più o men copiosa riflessione regolare.

Se la direzione della luce riflessa si è determinata con una precisione geometrica, non può dirsi lo stesso della sua intensione. Intorno a questo difficile argomento, di cui sarà discorso alla fine dell' ottica, sappiamo solo:

1.° Che la quantità di luce regolarmente riflessa cresce secondo l' angolo d' incidenza, senza divenir nulla quando nullo l' angolo diventa;

2.° Che essa varia secondo il mezzo per cui la luce passa e quello sul quale cade;

3.° Che diversissima si mostra sopra corpi di natura diversi e posti con le stesse circostanze.

Recheremo qui alcuni esempj i quali faranno intendere meglio questi risultamenti generali.

Guardando la fiamma di una lucerna per la riflessione de' suoi raggi sopra un pezzo di vetro smerigliato, non se ne vedrà l' immagine quando l' angolo d' incidenza sia picciolissimo, ma si vedrà molto chiara quando quest' angolo sia grandissimo. In questo caso si può anche vederla sopra un pezzo di legno, sopra una stoffa, e finanche sopra una carta annerita col nerofumo. Dalle quali sperienze rendesi anche aperto che tutt' i corpi riflettono regolarmente una certa porzione della luce che ricevono.

370. *Goniometro di Charles* — Le leggi delle riflessione della luce sonosi applicate a misurare gli angoli diedri delle superficie levigate e particolarmente de' cristalli. Gli strumenti all'uopo adoperati chiamansi *goniometri*. Descriveremo solo il goniometro di Charles (1).

Questo strumento è dinotato dalla figura 145: esso è composto di un cerchio di rame *a* sostenuto da un piede con tre viti di livello ordinate a disporlo orizzontalmente: sopra questo cerchio si adatta un' alidada *b*, la quale forma una cap-

(1) V' ha una piccola differenza tra il goniometro di Charles e quello di Wollaston. V. Peclet *Traité élémentaire de Phys.* t. 2.

sula c verso il centro, e su questa con cera molle si ferma il prisma o il cristallo di cui si vogliono misurare gli angoli; la sola condizione cui convien soddisfare è che lo spigolo che forma la cima dell'angolo che si vuol misurare sia perfettamente verticale e però parallelo all'asse di rotazione dell'alidada senz' avere molta eccentricità; per la qual cosa si adopera il cannocchiale fisso *d*, nel cui fuoco trovansi disposti de' fili paralleli verticali; con questo si guarda una linea verticale lontana come un parafulmine o uno spigolo di un edifizio, poi, dopo di essersi assicurato della coincidenza di questa linea co' fili micrometrici del cannocchiale, si guarda per riflessione questa linea medesima sopra una delle facce dell'angolo diedro e poi sull'altra; se coteste due immagini riflesse, che osservansi l'una dopo l'altra facendo girare l'alidada, coincidono entrambe con lo stesso filo micrometrico, è chiaro che entrambe le facce dell'angolo diedro sono verticali nel tempo in cui riflettono le immagini della linea di mira, e però sono sempre verticali nel tempo della rotazione, ed è anche verticale lo spigolo dell'angolo diedro. Pochi tentativi bastano per arrivare a questa coincidenza. Quando di essa si può esser certo, si pone l'alidada sullo zero del cerchio graduato *a*, e si fanno questo e l'alidada girare finchè la linea di mira cada sotto il filo centrale del micrometro: allora mercè la vite di pressione il cerchio si ferma, e si fa solo girare l'alidada fino a che l'immagine riflessa sull'altra faccia venga a cadere sotto al medesimo filo: l'angolo per cui si è dovuto girare l'alidada sarà il *supplemento* dell'angolo cercato. Sulla figura 146 infatti si vede che la prima riflessione ha avuto luogo sulla superficie *ys*, la seconda accade quando la superficie *sy* è arrivata nella giacitura *s'y'*, e però quando ha descritto un angolo supplemento dell'angolo cercato.

371. ***Riflessione sopra due piani paralleli.***— Il punto *p* (*fig.* 147) si trova tra due specchi paralleli *m* ed *m'*, e l'occhio posto in *o* vede dietro lo specchio *m* un gran numero d'immagini delle quali è agevole il rendere ragione. I raggi che cadono direttamente sopra *m* formano un' immagine in *a*; quelli che vanno direttamente sopra *m'* ne formano un' altra in *a'*. Questi ultimi raggi dopo la loro riflessione trovansi dunque come se venisser direttamente dal punto *a'*, ed imbattendosi sullo specchio *m* formano un' immagine che trovasi in *b* (il punto *b* essendo simmetrico ad *a'* per rispetto ad *m*): dietro *m'* v'ha del pari un'immagine in *c* (il punto *c* essendo simmetrico ad *a* per rispetto ad *m'*). I raggi che hanno sofferto una prima riflessione sopra *m* ed una seconda sopra *m'* ritornan dunque di nuovo in *m*; essi trovansi disposti come se venissero dal punto *c*, e generano perciò un'immagine in *d* (il punto *d* essendo simmetrico a *c* per rispetto ad *m*), ec.

Da ciò s'intende come per le successive riflessioni si vede un infinito numero d' immagini gradatamente più oscure; agevole sarebbe l'esprimere algebricamente la legge delle loro scambievoli distanze.

Se si volessero distinguere le immagini che derivano dalla prima riflessione sopra *m* e quelle che derivano dalla prima riflessione sopra *m'*, si potrebbe porre tra gli specchi un corpo il quale fosse per esempio rosso dalla parte di *m* e turchino dalla parte di *m'*; allora da un lato tutte le immagini sarebbero alternativamente rosse e turchine, e dall'altro turchine e rosse.

372. ***Riflessione sopra due specchi inclinati.***—Gli antecedenti fenomeni accadono anche tra due specchi inclinati con la differenza però che il numero delle immagini visibili dipende allora dall'angolo degli specchi. Ci basterà di considerare il caso in cui gli specchi sian tra loro inclinati ad angolo retto: *mc* (*fig.* 148) rappresenta il taglio del primo, ed *m'c* quello del secondo; intorno al punto *c* di loro intersezione si è descritto un cerchio *amm'*. Un obbietto posto in *a* genera un'immagine in *b* per la riflessione sopra *mc* ed un' immagine in *b'* per la riflessione sopra *m'c*; inoltre i raggi che han sofferto una prima riflessione sopra *mc* e che ricadono sopra *m'c* danno un'immagine in *d* (il punto *d* essendo simmetrico a *b* per rispetto ad *m'c*), e quelli che han sofferto una prima riflessione sopra *m'c*, ricadendo sopra *mc* danno un'immagine nello stesso punto *d* (poichè questo punto è del pari simmetrico a *b'* per rispetto ad *mc*). Donde segue che se si ponga l'occhio verso uno degli estremi degli specchi presso la loro comune sezione per ricevere ad un tempo i raggi diretti e quelli che han ricevuto una o due riflessioni, si vedranno quattro immagini del punto *a*, cioè l'immagine diretta in *a*, indi le immagini riflesse in *b*, *b'*, *d*.

Da questo principio deriva la struttura del caleidoscopio.

Volendo avere per esempio 5, 6, . . . 20 immagini dello stesso punto, basterà fare l'angolo degli specchi $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, . . . $\frac{1}{10}$ di circonferenza (1).

(1) Il caleidoscopio è un tubo dentro del quale sono due lamine di specchi inclinate tra loro, agli

373. *Riflessioni sopra gli specchi curvi.* — Si tiene in ottica per principio generale, che in un punto qualunque d'una superficie curva la riflessione avviene come avverrebbe se la luce cadesse sul piano tangente a questo punto. Vedremo di corto questo principio esser fermato da numerose sperienze, sebbene possa essere anche teoricamente dimostrato. Donde segue che le leggi generali si applicano senza eccezione a tutte le superficie, e la quistione riducesi a trovare la direzione del piano tangente o della normale, il che ci mena ad un semplice problema di geometria.

Laonde un punto luminoso posto nel centro d'una sfera vuota e levigata al di dentro, spanderebbe de' raggi sopra tutti i punti della superficie di questa, e ciascun raggio sarebbe riflesso sopra se stesso e tornerebbe nel centro dopo la riflessione. In simil guisa un punto luminoso posto in uno de' fuochi di un ellisoide spanderebbe de' raggi sopra tutt' i punti della superficie di esso, e questi dopo la riflessione andrebbero tutti a concentrarsi nell' altro fuoco, indi continuando il loro cammino dopo una seconda riflessione si riunirebbero nel primo fuoco, e così dopo una terza riflessione al secondo; ec.

Un punto luminoso posto nel fuoco di un paraboloide spanderebbe de' raggi i quali sarebber riflessi tutti parallelamente all' asse, ed andrebber così all' infinito. E per contro, un punto posto all' infinito, come una stella, e sull' asse di un paraboloide, manderebbe dei raggi i quali riflettendosi si riunirebbero nel fuoco.

374. *Riflessione sugli specchi sferici.* — Immaginiamo una sfera la cui interna superficie sia levigatissima; se la si tagli con un piano che ne stacchi una *calotta*, si avrà uno *specchio sferico concavo*: lo specchio sarebbe *sferico convesso* se fosse il segmento levigato dalla parte esterna.

L' *ampiezza* dello specchio è l' angolo che fanno i due raggi *cm* e *cm'* menati dagli orli opposti del segmento (*fig.* 149); il suo *diametro* è la linea *mm'* che unisce gli orli opposti del segmento; il suo *asse* è la linea *ac* tirata dal centro del segmento a quello della sfera.

Il punto *a* dicesi anche *centro di figura* dello specchio, e il punto *c centro di curvatura*.

Quando un punto luminoso *s* è posto sull'asse dello specchio (*fig.*150), tutt' i raggi che invia a piccola distanza angolare dal punto *a* vanno dopo la riflessione ad unirsi nello stesso punto *f*. Per dimostrare ciò; sia *si* uno di questi raggi, *ci* la perpendicolare al punto d'incidenza, ed *if* il raggio riflesso; dinotiamo con x, y, z gli angoli *asi*, *aci*, *afi*, con d l'angolo d' incidenza *cis* e l' angolo di riflessione *cif* che gli è uguale, e con b, r, m le tre distanze *as*, *ac*, *af*. Poichè si suppone che x, y, z non oltrepassino i tre o quattro gradi, così questi angoli possono essere rappresentati dalle loro tangenti, l' arco *ki* può nello stesso tempo esser considerato come una retta perpendicolare ad *as*; ed i triangoli rettangoli *asi*, *aci*, *afi* danno

$$x=\frac{ai}{b},\ y=\frac{ai}{r},\ z=\frac{ai}{m}\ (1):$$

si ha d' altronde

$$x=y-d,\ \text{e}\ z=y+d\ (2),$$

estremi delle quali trovansi alcuni pezzettini di vetro varj in colori e figure. Guardando per un buco che sta dall'altro capo del tubo ed agitando di quando in quando que' pezzettini, tu vedi nascere una serie di forme tra loro diverse, le quali saranno per le cose dette sempre simmetriche e però grate alla vista.

Brewster, che fece il primo caleidoscopio, pose gli specchi inclinati per 30°. Il caleidoscopio servì per obbietto di passatempo a' fanciulli; e fatto in maggiori dimensioni facea parte delle sperienze di ricreazione. Ma il nostro ch. concittadino Paolo Anania de Luca ha saputo renderlo utile alle arti. In una sua memoria inserita nel *Progresso* egli discorre del caleidoscopio considerato sotto tutti gli aspetti, ne enumera i generi e le specie, e ne indica gli usi. E poichè in lui tu trovi unito lo scienziato e l' artista, così egli ha fatta una bella collezione di questi strumenti co' quali trova il giojelliere una infinità di modelli per incastrare le pietre preziose, il calligrafo altrettante bellissime disposizioni di cifre, l' architetto disegni i più svariati per ringhiere e cancelli di ferro, ec.ec. In questa collezione trovasi anche il caleidoscopio che il de Luca chiama *simmetrizzatore* e che io chiamerei *caleidoscopio variabile*, il quale può rappresentare tutte le varietà dello strumento, ed è ottimo per lo insegnamento. Esso somiglia il *prisma variabile* di cui sarà tra poco discorso, i due specchi cioè per opportuno meccanismo possono ricevere quella inclinazione che si vuole a rappresentare così ogni caleidoscopio. *Vedi il Rendiconto dell' Accademia delle Scienze di Napoli, 1842.*

(1) Si sa dalla trigonometria che in ogni triangolo rettangolo un cateto sta all'altro come il raggio alla tangente dell' angolo sotteso da quest' ultimo cateto, e però nell' ultimo triangolo *asi* avremo $sa : ai = 1 : \text{tang}\ x$; ma $sa = b$ e $\text{tang}\ x = x$; dunque la proporzione può scriversi così $b : ai = 1 : x$, donde ricavasi

$$x=\frac{ai}{b}:$$

così si trovano anche y e z.

(2) Nel triangolo *ics* abbiamo l' angolo esteriore *ica* eguale alla somma de' due interiori ed opposti *csi*, *cis*, vale a dire

$$y=x+d,\ \text{e però}\ x=y-d.$$

Nell'altro triangolo poi *ifc* è chiaro esser l'angolo

donde $z+x=2y$, ovvero $z=2y-x$, e sostituendo i valori antecedenti si ha

$$\frac{ai}{m}=\frac{2ai}{r}-\frac{ai}{b},$$

ovvero

$$\frac{1}{m}=\frac{2}{r}-\frac{1}{b}.$$

Questo valore di $\frac{1}{m}$ non dipendendo dagli angoli x, y, z, è mestieri conchiudere che tutt' i raggi provenienti dal punto s vanno realmente a concentrarsi nello stesso punto f, il quale perciò si chiama il *fuoco* del punto a; ma questa conclusione è vera solo nel caso in cui gli angoli x, y, z possono essere rappresentati dalle loro tangenti, il che limita necessariamente l' apertura dello specchio in modo da non potere oltrepassare 8 o 10°. Per un' apertura maggiore i raggi non concorrerebbero più perfettamente nel punto medesimo, ed accadrebbe quello che dicesi *aberrazione di sfericità*.

Se il punto luminoso fosse posto fuori dell'asse dello specchio, si potrebbe per questo punto e per lo centro c dello specchio intender menata una retta, la quale sarebbe un asse secondario; e potendosi ragionare per rispetto a questo nello stesso modo che si è fatto per l'asse primario, si conclude essere la formola antecedente acconcia per tutti i casi. È mestieri intanto avvertire che se l'asse secondario facesse col primario ac un agolo di 15 in 20°, gli angoli x, y, z non potrebbero più essere stimati come picciolissimi, e però rimane limitato il *campo dello specchio*, cioè la grandezza del cono che un punto luminoso può avere, affinchè tutt'i raggi riflessi vadano con sufficiente precisione a riunirsi nello stesso fuoco.

Tutti i raggi riflessi incontrandosi nello stesso punto vi pongono una chiara e spiccata immagine del punto luminoso donde essi pervennero, ed è sempre agevole a trovare il luogo di questa immagine; imperciocchè si sa che questa deve trovarsi in un punto della linea che passa per lo punto luminoso e per lo centro dello specchio, e ad una tal distanza dallo specchio la quale ci vien data nel valore di m, che si può sempre conoscere quante volte si sappiano r e b, cioè il raggio dello specchio e la distanza del punto luminoso (1).

Affinchè la formola generale meglio s' intenda, l' applicheremo ad alcuni casi particolari:

1° Quando b è infinito, tutti i raggi sono paralleli, ed allora $m=\frac{r}{2}$ (2), cioè il fuoco in questo caso trovasi sulla metà del raggio (*fig.* 151). Questo fuoco si chiama *fuoco principale*, e la distanza dallo specchio chiamasi *distanza focale principale*.

La figura 152 esprime il cammino de' raggi di un fascio paralleio ed obbliquo all' asse dello specchio.

2° Quando $b=100r$, si ha $m=\frac{100r}{199}$; (3) laonde basta che la distanza dell' obbietto dallo specchio sia eguale a 100 volte il raggio, perchè l' immagine si riduca quasi al fuoco principale (4).

3° Se fosse $b=2r$, si avrebbe $m=\frac{2r}{3}$ (5);

z come esteriore eguale alla somma de' due interiori ed opposti uno dei quali è y, e l' altro cif essendo di riflessione è uguale all' angolo d d'incidenza, onde apparisce essere

$$z=y+d.$$

(1) Imperocchè dall' equazione

$$\frac{1}{m}=\frac{2}{r}-\frac{1}{b}$$

si ricava facilmente

$$m=\frac{rb}{2b-r}.$$

(2) L' equazione $\frac{1}{m}=\frac{2}{r}-\frac{1}{b}$ nel caso di b infinito diventa $\frac{1}{m}=\frac{2}{r}$, donde ricavasi $m=\frac{r}{2}$.

(3) Imperciocchè l' equazione $\frac{1}{m}=\frac{2}{r}-\frac{1}{b}$ deve in questo caso essere espressa così: $\frac{1}{m}=\frac{2}{r}-\frac{1}{100r}$, ossia $100r^2=200mr-mr$; e dividendo per r si ha $100r=200\,m-m$, ossia $100r=(200-1)m$, e finalmente $m=\frac{100r}{200-1}=\frac{100r}{199}$.

(4) E per fermo, se invece di essere $m=\frac{100r}{200-1}$ fosse $m=\frac{100r}{200}$, si avrebbe $m=\frac{r}{2}$ e questo fuoco coinciderebbe col fuoco principale.

(5) Questo valore di m, dopo quello che si è detto nella nota 3, si trova facilmente.

onde nell'atto che l'oggetto venendo dall'infinito si avvicina allo specchio fino alla distanza del doppio raggio, l'immagine non si muove per un piccolo spazio, da $\frac{r}{2}$ cioè fino a $\frac{2r}{3}$.

4° Per $b=r$ si avrà $m=r$, il che è chiaro, perocchè tutt' i raggi che partono dal centro debbono riflessi riunirsi anche nel centro.

5° Nel caso di $b=\frac{r}{2}$, si ha $m=\infty$, il che significa che se il punto luminoso si trovi nel fuoco, i raggi riflessi formeranno un fascio parallelo e si andranno ad incontrare all'infinito (*fig.* 151 e 152), e questo deve accadere perocchè il punto all'infinito ed il fuoco principale son due punti conjugati.

6° Quando b è minore di $\frac{r}{2}$, quando cioè il punto luminoso si avvicina più allo specchio che al fuoco principale, m prende un valore negativo; e questo non vuol dinotare che i raggi riflessi non debbano in questo caso incontrarsi, ma che s'incontrerebbero se fossero prodotti al di là dello specchio (*fig.* 153). Il fuoco v prende allora il nome di *fuoco virtuale*, perocchè i raggi non passano realmente per esso quantunque siau diretti come se vi passassero.

Da questa disamina segue che se un obbietto ss' (*fig.* 150) fosse posto sopra una superficie sferica che abbia lo stesso centro dello specchio, esso produrrebbe in mm' un'immagine *rovescia* che lo rappresenterebbe perfettamente; si acquisterà un'idea della ragione tra la grandezza dell'obbietto e quella della immagine, se si ponga mente che tanto l'uno quanto l'altra sarebbero dal centro dello specchio veduti sotto lo stesso angolo.

Se tutt' i punti di un obbietto non fossero dal centro egualmente lontani, non sarebbero tutti i punti dell'immagine egualmente lontani.

Tutti questi risultamenti restano fermati mercè le seguenti sperienze.

Se un ampio fascio di luce solare cada sullo specchio mm' (*fig.* 151 e 152), si vedrà una piccola e lucida immagine del sole in f o in f', secondo che il raggio incidente è parallelo oppure obbliquo all'asse. Il sole essendo veduto dalla terra sotto un angolo di 30′, la sua immagine sarebbe sotto lo stesso angolo veduta dal centro c. Per la qual cosa la sua assoluta grandezza deriva dal raggio dello specchio: nel fuoco per esempio del gran riflettitore di Herschell, che ha 80 piedi di raggio, l'immagine del sole ha circa 3 pollici di diametro, nell'atto che ne ha appena 3 linee nel fuoco di uno specchio di 6 piedi di raggio e soli 3 millimetri in quello che abbia il raggio di 1 metro. Cotesta immagine, sia grande sia piccola, ha sempre uno splendore assai chiaro; nel piccolo spazio che occopa trovasi concentrata tutta la luce ed il calorico del pennello incidente.

Questa sperienza sarebbe acconcia a farci conoscere il raggio di curvatura di uno specchio; ma in questo caso è mestieri covrire lo specchio con panno o carta, lasciandone scoperte sole due piccole porzioni verso gli orli in v e v' (*fig.* 154); imperocchè è assai più agevole il determinare con precisione il punto d'incontro de' due piccoli fasci vf e $v'f$, che il luogo in cui la intera immagine del sole ha il minor diametro ed è meglio terminata.

Non si durerà molta pena a rendersi certo che gli obbietti lontani dallo specchio per circa 100 raggi del medesimo danno la loro immagine quasi nel medesimo punto del sole.

Movendo una lampana entro una camera oscura a diverse distanze da uno specchio concavo ivi disposto, nell'asse di esso e fuori del medesimo si potranno verificare tutti gli altri risultamenti del calcolo dei quali di sopra è detto. La sua immagine si riceverà sopra un piccolo foglio di carta o sopra una piccola lastra di vetro smerigliato; se il piano fosse troppo grande arresterebbe troppo della luce incidente che va sullo specchio.

Gli specchi convessi danno solo *fuochi virtuali* o *immagini virtuali*. Egli è facile il vedere che per cosiffatti specchi la formola generale diventa:

$$-\frac{1}{m}=\frac{2}{r}+\frac{1}{b}.$$

I valori di b e di r essendo necessariamente positivi, quelli di m saranno sempre negativi: e siccome essi si sono computati dal punto a, è chiaro che il fuoco cade sempre dietro lo specchio da a verso R; per la quale cosa i raggi non s'incontrano *giammai realmente*, ma solo *virtualmente*, ovvero s'incontrano i loro prolungamenti.

Quando $b=\infty$, si ha $m=-\frac{r}{2}$, e questo è il maggior valore di m (*fig.* 155); quando $b=r$, si ha $m=-\frac{r}{3}$; se finalmente $b=0$, sarà anche $m=0$.

Questi risultamenti si posson del pari veri-

ficare coll' esperienza, coprendo uno specchio convesso con un cartone bucato in due punti e seguendo la direzione de' piccoli pennelli riflessi, per determinare il punto dietro lo specchio nel quale, prolungati, andrebbersi ad incontrare (*fig.* 156).

375. *Specchi conici o cilindrici.* — Facciam motto di questi specchi per dar solo un' idea del cammino dei raggi che riflettonsi alla superficie dei medesimi e delle illusioni più o meno singolari che ne derivano. Sia *bsb'* (*fig.* 157) il taglio di uno specchio conico la cui superficie laterale esterna è ben levigata. Si adagi con la base in *bmb'*, nel mezzo di un cartone circolare sul quale son diseguate secondo certe leggi, alcune bizzarre figure dette *anamorfosi*. L' occhio posto in *o* alquanto al di sopra del vertice del cono vede per riflessione una figura regolare proveniente dal deforme disegno fatto sul cartone. Per intendere questa maniera d' illusione, basterà osservare che il punto *c*, per esempio, farà per riflessione la sua immagine in *c'* e che i punti compresi tra *b* e *c* faranno la loro sulla linea *bc'*.

Gli specchi cilindrici simili effetti presentano; dei quali è agevole il render ragione mercè le prime nozioni di geometria e di prospettiva.

376. *Delle caustiche.* — Quando i raggi che vengono da uno stesso punto luminoso e son riflessi da una superficie curva continua, non si riuniscono tutti nello stesso fuoco, accade sempre che i raggi vicini s' incontrano, ed alloro i successivi punti d'incontro generano una superficie detta *catacaustica* ossia caustica per riflessione. Quando la riflessione si fa sopra una linea e non sopra una superficie, la caustica è anche essa una linea. La ricerca delle forme delle caustiche è un problema che ha esercitato gl' ingegni di molti valenti geometri.

377. *Eliostata di Gambey.* — L' eliostata è uno strumento ordinato a riflettere i raggi solari per una stessa direzione durante un' intera giornata, ad onta delle altezze continuamente variabili del sole sopra l'orizzonte. Il problema era già stato risoluto, ma il signor Gambey ne ha data una soluzione più semplice ed ingegnosa, ed il suo eliostata è espresso dalle figure 158 e 159; noi possiamo appena qui dare un' idea del principio donde deriva la sua struttura.

a è un cerchio che si pone sempre parallelo all' equatore; esso gira sopra se stesso con moto uniforme, in modo da compiere, come il sole, un'intera rivoluzione in 24^h; questo moto gli vien dato dall' orologio *h*.

b è un arco di cerchio il cui piano va sempre messo nel meridiano del luogo mercè la sua alidada; esso è perpendicolare al cerchio equatoriale, ed è congiunto all' asse intorno al quale questo fa la sua rivoluzione in 24^h, in modo che basta inclinarlo più o meno secondo la latitudine del luogo perchè il cerchio equatoriale si trovi nel piano dell' equatore.

c è l' arco di declinazione; esso è perpendicolare all' equatoriale sul quale è fermato il suo asse; in ogni giorno si regola la sua posizione secondo la declinazione, facendolo girare intorno all' asse *yz* parallelo all' equatoriale.

m è uno specchio metallico ordinato a ricevere ed a riflettere i raggi solari. Questo è diretto: 1° mercè una coda a forchetta ed a cannello mobile sopra un pezzo conico il cui asse resta fermo in qualunque giacitura; il prolungamento di quest' asse va a terminare nel mezzo *s* dell' asse *yz*; 2° mercè l' asta *t* il cui asse trovasi nel piano dello specchio; quest' asse passa per un anello *g* in cui scorre e dal quale è portato nel moto di rotazione del cerchio equatoriale. Da questa disposizione segue che in un giorno l' asta *t* dello specchio o forse meglio il piano di questo, descrive un cono obbliquo intorno alla coda dello specchio; il vertice di questo cono è lo stesso centro dello specchio dove passa il prolungamento dell' asse della coda *f*, e la sua base è il cerchio descritto dall' anello *g* che rimane parallelo all' equatore e per conseguenza al cerchio descritto dal sole. Quantunque l'anello *g* descriva un cerchio, la sua distanza dal punto *s* rimane costante e descrive un cono più o meno slargato secondo che maggiore o minore sta la declinazione del sole, e cotesto cono si apre per un verso o per l' altro secondo che la declinazione è australe o boreale; ma questa distanza invariabile *sg* è sempre eguale alla invariabile distanza che passa tra il punto *s* ed il centro *i* dello specchio; questo appunto si vede meglio significato dalla figura 159, in cui *g* dinota la giacitura dell' anello corrispondente all' equinozio, e g' e g'' le sue giaciture corrispondenti ai solstizi.

Il triangolo *isg* o *isg'* è dunque sempre isoscele e perpendicolare al piano dello specchio *mm*. Se intanto dinoti *li* il raggio solare incidente nell' equinozio, è chiaro che esso sarà sempre riflesso secondo la direzione *if* del prolungamento della coda *si*, imperocchè esso è riflesso nel piano d' incidenza, il quale è il piano del triangolo isoscele *isg*, quando l' eliostata è proprio nel punto, e nello stesso tempo fa col piano dello specchio un angolo

lig eguale ad *sig* o ad *mif*. Lo stesso raziocinio si applicherebbe al raggio *l' i* del solstizio, perocchè l'anello troverebbesi allora in *g'*, in modo che *g's* sarebbe parallelo ad *l'i*. Si può dirigere la coda *f* come si vorrà, ed esser certo che per tutto quel dì il raggio sarà sempre riflesso secondo questa direzione.

377 *bis*. *Eliostata di Silbermann*. — Silbermann mio preparatore alla Facoltà delle scienze ed al Conservatorio, il cui nome si trova parecchie volte ricordato in quest' opera, ha posteriormente immaginato un eliostata il quale non è meno importante per la sua semplicità e per la facilità di poter essere collocato dovunque senza alcun calcolo antecedente. Questo strumento è rappresentato dalle figure 1 e 2 della tavola 36. Ecco i principi sopra i quali si adagia,

Sia *c* (*fig*. 2) il centro di uno specchio, *cp* la direzione dell' asse della terra, *cq* l' equatore, *ambd* il parallelo descritto dal sole nel giorno dell' esperienza, e *ch* la linea secondo la quale si vuole che il raggio solare riflesso si trovi diretto per tutta la giornata mentre il sole compie il suo giro .*qmp* dinota il meridiano del luogo e *cz* la verticale. Il raggio incidente verrà successivamente dal nascere fino al tramonto del sole, secondo la direzione della generatrice del cono *cabmd*. Resta a vedere come si dovrà regolare il moto dello specchio affinchè il raggio riflesso sia sempre diretto secondo *ch*. Per la qual cosa prolunghiamo i raggi incidenti al di sotto del punto *c* per una quantità arbitraria *cm'*, e formiamo il cono *ca'b'm'd'*; prolunghiamo egualmente la direzione del raggio riflesso di una quantità arbitraria *ch'*: è chiaro che a mezzodì il raggio incidente arrivando secondo *cm*, il piano di riflessione sarà determinato dalle linee *cm'* e *ch'*, e dividendo in due parti eguali l' angolo *m'ch'* si troverà *cn* che è la normale dello specchio. Similmente alle ore nove per esempio il raggio incidente giungendo secondo *bc*, il piano di riflessione è determinato dalle linee *cb'* e *ch'*, e basterà dividere in due parti eguali l'angolo *b'ch'* per avere la nuova normale allo specchio. Dicasi lo stesso per tutte le altre incidenze delle diverse ore del giorno. Ciocchè dimostra chiaramente che il problema è possibile, cioè che si può veramente dirigere sempre il raggio riflesso in una direzione qualunque *ch*, il cui prolungamento sia *ch'*.

Ci rimane ora a vedere come lo specchio potrà esser regolato in modo che le sue normali dividano sempre in due parti eguali gli angoli analoghi ad *h'cm'*, *h'cb'*. Silberman vi è pervenuto in un modo quanto semplice altrettanto ingegnoso. Dal punto *c* come centro descriviamo un arco di cerchio *m'fg*; immaginiamo che questo arco giri intorno di *cf* in modo che il suo estremo *m'* si trovi sempre sul prolungamento del raggio solare incidente; supponghiamo di più che *cm'* sia una verga che possa girare sopra se stessa nel suo punto di unione con l'arco *m'fg*, e che poi sia articolata in *c* con l'asta *ch*, che può egualmente girare sopra se stessa. Allora egli è chiaro che l' arco *m'fg* trasportando col suo moto l' asta *m'c* lascerà il punto *c* immobile, perchè l'asta *ch'* gira ma non è spostata. Il piano intanto dell'articolazione delle aste *m'c* e *ch'* varia in ogni momento. Prendiamo ora sopra *cm'* e *ch'*, partendo dal punto *c*, due distanze eguali *cr* e *cs* e congiungiamovi a cerniera due altre aste eguali *rt*, *st*; queste due aste resteranno sempre nel piano, continuamente variabile, dalle aste *cm'* e *ch'*, che è il piano di riflessione: ancora, la diagonale *ct* di questo quadrilatero *crts*, dividerà sempre in due parti eguali l'angolo che fanno tra loro, l'asta fissa e girante *ch'*, e l'asta mobile e girante *cm'*. La diagonale *ct* dunque sarà sempre la normale allo specchio; per la qual cosa se sopra lo specchio perpendicolarmente al suo piano si fermi una striscia *cv* avente una fenditura sulla quale possa scorrere il bottone che riunisce in *t* le due aste *rt* ed *st*, questo bottone regolerà lo specchio e lo terrà sempre in una giacitura tale da riflettere il raggio secondo *ch*, poichè la normale *cv* divide sempre in due parti eguali l'angolo che fa *ch'* col prolungamento del raggio incidente, sia qualunque la giacitura di questo prolungamento sul cono *cm'b'd'*.

Siccome poi il punto *c* non potrebbe essere nello stesso tempo il centro dello specchio e l'asse della cerniera, così Silbermann ha superata questa difficoltà sostituendo alle aste dritte *cm'* e *ch'* delle quali si è discorso, delle aste a forchetta che abbracciano lo specchio. Laonde la cerniera che noi abbiamo supposta al punto *c* è semplicemente separata e l' ordinamento si esegue in pratica con semplicità pari alla giustezza.

Volgendo lo sguardo alla figura 1 s' intenderanno tutt' i particolari dello strumento.

L'orologio *a* può rotare intorno dell' asse *bb'* che da prima si colloca perpendicolarmente alla linea meridiana del luogo; quest' asse è orizzontale, quando il piede è ridotto orizzontale, mercè le tre viti ed il livello di cui è dotato. L' arco di cerchio graduato *ii'* è ordinato ad inclinare l' orologio secondo la

latitudine, affinchè il suo asse xx' coincida con l'asse della terra. Questo asse appartiene nello stesso tempo a tre pezzi importanti: 1° ad una canna fissa unita all'orologio la quale sostiene il quadrante delle ore ee'; 2° ad una canna mobile dd' che circonda la prima, girante liberamente intorno alla medesima e che si ferma mercè una vite di pressione d''; ad un'asta cilindrica mantenuta da ghiere nella canna fissa, e girante sopra se stessa; quest'asta propriamente parlando è il *quadrato dell' indice* dell'orologio; essa attraversa il quadrante delle ore ee' sul quale segna il tempo, e termina al di sopra del quadrante nell'arco $m'fg$ il cui estremo m' è sempre sul prolungamento del raggio incidente; questo arco è appunto quello della figura 2; esso porta delle divisioni corrispondenti alle declinazioni del sole per ciascun giorno, e la prima operazione da fare è appunto di accomodare lo strumento in corrispondenza della divisione che conviene al giorno in cui si voglian fare osservazioni. Al suo estremo m' si pone a dolce strofinio l'estremo della *forchetta d'incidenza.*

L'arco poi lh' montato sulla canna indipendente dd', si muove e si ferma mercè una vite di pressione, affinchè si possa ridurre il suo estremo h' nel prolungamento del raggio riflesso che vuolsi avere; ed a questo estremo h' si pone a strofinio dolce l'estremo della forchetta di riflessione.

Le due forchette si articolano tra loro e con lo specchio, la cui normale cv si trova così regolata dalle due aste rt ed st.

CAPO II.

DIOTTRICA O RIFRAZIONE DELLA LUCE.

378. *Leggi generali della rifrazione della luce.* — La rifrazione è il deviamento ossia il cambiamento di direzione che prende la luce passando da un mezzo in un altro. Un raggio di luce passando dal vetro nel vuoto, o dall'aria nell'acqua, o in generale da un mezzo in un altro, non si piega già prontamente, siccome una linea geometrica che formi un angolo; ma è probabile che si curvi e s'inclini gradatamente prima di ridursi un'altra volta rettilineo; se però questa curvatura realmente si generi, essa è così piccola che noi non giungeremo a riconoscerla esistente. Rappresenteremo dunque i raggi rifratti per mezzo di linee piegate.

L'*angolo d'incidenza lin* (*fig.* 160) è in questo caso, come per la riflessione, quello formato dal raggio incidente e dalla perpendicolare che passa per lo punto d'incidenza.

L'*angolo di rifrazione rin'* è quello che il raggio rifratto ir fa con la perpendicolare in' prodotta.

Piani d'*incidenza e di rifrazione* sono rispettivamente quelli degli angoli d'incidenza e di rifrazione. Un sol raggio incidente produce generalmente anche un sol raggio rifratto: sonovi non pertanto corpi, come lo spato d'Islanda, il cristallo di rocca ed alcuni altri cristalli, nei quali il raggio incidente fa nascere quasi sempre due raggi rifratti; cotesti fenomeni di *doppia rifrazione* hanno delle attinenze con la polarizzazione della luce di cui più appresso discorreremo; tratteremo per ora delle leggi della *rifrazione semplice*, le quali sono contenute nelle due seguenti proposizioni:

1° *Il piano di rifrazione coincide sempre con quello d'incidenza;*

2° *La ragione del seno dell'angolo d'incidenza a quello di rifrazione è costante per uno stesso mezzo.*

La prima di queste proposizioni non offre alcuna difficoltà, ma sceglieremo un esempio per far meglio intendere la seconda.

Supponghiamo che in un vase ad emisferio di vetro (*fig.* 161) si versi dell'acqua fino a che il livello nn' passi per lo centro c: un piccolo pennello di luce diretto verso il centro faccia un angolo d'incidenza lcp il quale si misuri col cerchio graduato npn', ed un angolo di rifrazione rcp' che si misurerà del pari sulla superficie del vase, essendo agevole il ravvisare il punto per lo quale l'anzidetto pennello passa nell'uscire dal vase per entrare nell'aria. Il seno del primo di questi angoli è la perpendicolare ld, quello del secondo è la perpendicolare rf: la ragione del seno d'incidenza a quello di rifrazione è ld diviso per rf, e questa ragione si troverà quasi eguale a $\frac{4}{3}$; onde;

$$\frac{ld}{rf}=\frac{4}{3}.$$

Se un altro pennello cadesse nella direzione $l'c$ darebbe un pennello rifratto $r'c$; i seni d'incidenza e di rifrazione sarebbero allora $l'd'$ ed $r'f'$, e si avrebbe del pari:

$$\frac{l'd'}{r'f'}=\frac{4}{3}.$$

Accadrebbe lo stesso per tutt'i pennelli, sia qualunque la loro incidenza. Per la qual cosa si può giustamente affermare, la ragione del

seno dell' angolo d' incidenza a quello di rifrazione mantenersi la stessa, quando i mezzi sono gli stessi: il quale risultamento si esprime generalmente così:

$$\frac{sen\ a}{sen\ b} = n.$$

a, è l' angolo d' incidenza, o quello del primo mezzo; b, l' angolo di rifrazione, ovvero quello del secondo mezzo; n, l' indice di rifrazione.

Nell' esempio arrecato si avrebbe $n = \frac{4}{3}$; ma se la superficie dell' acqua fosse in contatto col gas idrógeno, o con l' aria rarefatta, o pure col vuoto, o finalmente con qualunque mezzo diverso dall' aria comune, l' *indice* che si serba costante per qualunque incidenza, avrebbe valori più o meno dall' antecedente diversi. Variando la temperatura dell' acqua, essa dovrebbe solo per questo esser tenuta come un altro mezzo, e ciò sarebbe sufficiente ad alterare più o meno l' indice di rifrazione.

Lo strumento del quale di sopra è detto è precisamente quel desso che un tempo fu adoperato da Cartesio per rendere aperte mercè l' esperienza le leggi della rifrazione, imperciocchè la scoperta di queste leggi appartiene all' ingegno di quel sommo geometra; egli aveale indovinate *a priori* mercè alcune speculazioni teoriche stimate ora come pure fantasticherie, dalle quali però venne fuori una legge la più bella e la più feconda che l' ottica si abbia.

In qual modo si possa per via di più precise dimostrazioni conoscere la giustezza matematica delle indicate leggi, sarà altrove dichiarato.

Quando la luce passa di nuovo dall' acqua nell' aria, l' angolo d' incidenza sarà quello che ha fatto nell' acqua, e l' angolo di rifrazione sarà quello che fa nell' aria, ma questi angoli col mutar che fanno di nome non mutano di grandezza; il raggio che cade secondo rc si rifrange secondo cl, siccome si può per esperienza dimostrare: ciò si esprime generalmente col dire *che un raggio il quale torna in dietro passa di nuovo pei medesimi luoghi*. Per la qual cosa se n dinota l' indice di rifrazione per la luce che passa da un primo mezzo in un secondo, $\frac{1}{n}$ sarà l' indice di rifrazione per la luce che passa dal secondo nel primo.

Se n è maggiore dell' unità, $sen\ a$ sarà maggiore di $sen\ b$, e però a maggiore di b; dal che si rende aperto che la luce rifrangendosi *si avvicina alla perpendicolare*; allora si dice che il secondo corpo è *più rifrattivo* del primo (*fig.* 162).

Quando n è uguale all' unità, $sen a$ è uguale a $sen b$; il che dinota che la luce *non si rifrange punto*; in questo caso si dice che il secondo mezzo è *rifrattivo come* il primo (*fig.* 163).

Nel caso di n minore dell' unità, $sen a$ sarà minore di $sen b$; il che significa che la luce rifrangendosi *si allontana dalla perpendicolare*; ed in questo caso diciamo che il secondo mezzo è *meno rifrattivo* (*fig.* 164).

Cotesti risultamenti si esprimon d' ordinario col dire che la luce si *avvicina* alla perpendicolare, ovvero se ne *allontana*, secondochè il mezzo in cui penetra sia *più o meno denso* di quello onde proviene. La quale proposizione non è del tutto vera, imperocchè talvolta accade che un mezzo *meno denso* di un altro e di questo più *rifrattivo*; ed in generale poi la *rifrangibilità* non è in verun modo alla *densità* proporzionale.

Il minor valore dell' angolo d' incidenza è zero; il raggio cade in questo caso secondo la perpendicolare; e siccome il seno dell' angolo zero è anche zero, così è forza che sia $sen\ b = 0$, ossia $b = 0$: è mestieri cioè che il raggio penetri per dritto senza punto deviare. Il che dall'esperienza è pienamente rifermato, imperocchè non si ha mai rifrazione quando la luce passando per un primo mezzo cade perpendicolarmente sul secondo (*fig.* 165).

Il maggior valore dell' angolo d'incidenza è di 90°; i raggi sono paralleli alla superficie di separazione dei due mezzi (*fig.* 166); ed il seno di 90° essendo eguale all'unità, si ha:

$$\frac{1}{sen b} = n, \text{ ossia } sen b = \frac{1}{n}.$$

Il valore di b che se ne ricava è *l'angolo limite*. Per aria ed acqua si ha $n = \frac{4}{3}$, e quindi $b = 48° 35'$; la luce non può mai penetrare dall'aria nell' acqua sotto una maggiore obbliquità.

Per la qual cosa, in un vaso pieno di acqua, tutta la luce proveniente dalle diverse parti dell' orizzonte in un dato punto, deve essere per necessità compresa in un cono che ha per vertice l' anzidetto punto ed il cui angolo al centro è due volte 48° 35'. Se l' oc-

chio si trovasse in questo punto, ma rivolto fuori del sopraddetto cono, non potrebbe esser punto colpito dalla luce diretta; ma potrebbe solo, se l'acqua non fosse interamente limpida, ricevere qualche raggio di luce diffusa o irregolarmente riflessa.

E per contro, quando la luce uscendo dall'acqua per entrare nell'aria si presenta alla superficie di separazione con inclinazione maggiore dell'angolo limite, sarà impossibile che vi penetri, ma si genera allora un notevole *fenomeno* detto di *riflessione totale*; i raggi che per soverchia obbliquità non possono uscire, si riflettono *per intero* secondo le note leggi della riflessione (*fig.* 167), ed è il solo caso in cui la luce si riflette senza perdere intensione.

Pel vetro comune l'indice di rifrazione può variare da $\frac{3}{2}$ ad 1,545, e però l'angolo limite è compreso tra 41° 49′ e 40° 20′. Donde segue che se si abbia un cilindro di vetro terminato da una parte da un piano perpendicolare al suo asse e dall'altra da un piano inclinato per circa 49° e mezzo, si potrebbe presentarlo direttamente al sole senza che l'occhio situato verso la superficie obbliqua avesse a risentirne il minimo incomodo, giacchè esso non sarebbe in verun modo colpito dalla luce. E per fermo, il fascio luminoso che arriva sull'anzidetta superficie facendo un angolo di circa 40° e mezzo con la perpendicolare, dovrà essere totalmente riflesso.

DE' PRISMI

379. *Definizioni e fenomeni generali che presentano i raggi che attraversano i prismi.*— Per prisma in ottica s'intende un mezzo diafano terminato da due superficie piane levigate ed inclinate tra loro.

Il *vertice* del prisma è la linea in cui le due facce piane s'incontrano di fatto, o in cui prolungate andrebbonsi ad incontrare.

Base del prisma è qualunque piano opposto al vertice, sia che questo veramente vi si trovi, sia che vi si supponga.

L'*angolo rifrangente* è l'angolo formato dalle due facce del prisma.

Ogni sezione fatta da un piano perpendicolare al vertice, *sezione principale* si chiama.

Nella maggior parte delle sperienze faremo uso di prismi a tre facce rettangolari ab', ac', cb' (*fig.* 169). Quando la luce attraversa le facce ab' e bc', lo spigolo bb' è il vertice e la faccia ac' la base; allorchè essa attraversa ac' e bc', cc' è il vertice ed ab' la base.

La sezione principale abc o $a'b'c'$ di un tal prisma è sempre un triangolo; secondochè questo è rettangolo, isoscele, equilatero o scaleno, così si dice che anche il prisma è *rettangolo, isoscele, equilatero o scaleno.*

Cotesti prismi sono ordinariamente adattati sopra un piede di ottone (*fig.* 168). Tirando il tubo t si possono più o meno alzare; e mercè il *ginocchio* g si può dar loro quella giacitura che conviene secondo l'esperienza.

Ecco intanto quali sono i più generali fenomeni che presentano i prismi, tanto con la luce ordinaria, quanto con la luce solare.

Primieramente un prisma essendo orizzontale e col vertice in alto, se si avvicini l'occhio ad una delle sue facce per ricever la luce che entra per l'altra, si osserveranno due notevoli fenomeni: gli obbietti saranno considerabilmente *deviati* e trasportati in alto verso il vertice del prisma; e di più saran circondati da' colori dell'iride, almeno verso gli orli orizzontali, giacchè gli orli verticali non prendono nuovi colori. Se il vertice del prisma fosse rivolto in giù, gli anzidetti fenomeni accaderebbero in ordine inverso. Disponendo il prisma verticale, i fenomeni si avvererebbero *orizzontalmente* da dritta a sinistra, o al contrario, secondo la giacitura del vertice del prisma. Variando in tal modo le osservazioni, si può fermare che il deviamento accade verso il vertice del prisma perpendicolarmente agli spigoli, e la colorazione sempre parallelamente a questi, vale a dire che gli obbietti restan colorati dai colori dell'iride in tutti gli orli che si trovan paralleli al prisma.

In secondo luogo, quando un pennello di luce solare penetra nella camera oscura per piccol forame secondo la direzione vd (*fig.* 170), se presso all'imposta si metta un prisma orizzontale col vertice in alto, si avranno del pari un deviamento ed una colorazione. Il pennello sarà piegato verso la base del prisma nella direzione pr, e l'immagine del sole che era in d circolare e bianca, apparirà in r allungata perpendicolarmente agli spigoli del prisma e tinta da' più vivi colori dell'iride. E questo è ciò che dicesi *spettro solare*. Se il vertice del prisma sia rivolto in giù, il deviamento sarà rivolto in su e con le stesse apparenze; ponendo il prisma verticale o inclinato, il deviamento accadrà lateralmente o obbliquamente, ed è agevole il rendersi certo ch'esso accade sempre perpendicolarmente agli spigoli del prisma. Nel seguente capo farem la disamina dello spettro solare, ed in generale della colorazione dei fasci luminosi che attraversano i prismi ma per ora discorreremo solo del deviamento.

380. *Direzione de' raggi ne' prismi, e condizioni di loro emergenza.*—Gli angoli d'incidenza e rifrazione essendo sempre nello stesso piano, è chiaro che tutti i raggi che cadono in una sezione principale compiono il loro tragitto senza uscire dal piano di questa. E però per seguire il cammino di questi raggi ci basterà considerare l'angolo o il triangolo che forma la sezione del prisma.

Sia *as* (*fig.* 171) la prima faccia di un prisma di vetro, ed *a's* la seconda; *li* un raggio incidente che faccia un agolo *lin* con la perpendicolare; *ii'* ed *i'e* i raggi rifratto ed emergente che ne risultano. Passando dall'aria nel vetro il raggio *li* si piega e si avvicina alla perpendicolare; giunto alla seconda faccia con una certa obbliquità, esso piegasi di nuovo ed esce nell'aria allontanandosi dalla perpendicolare; s'intende che la sua direzione di emergenza *i'e* dipende dall'indice di rifrazione dell'aria per rispetto al vetro, dall'angolo rifrangente del prisma, e dall'angolo d'incidenza sulla prima faccia. Queste quattro quantità sono in fatti legate da un'importantissima formola; ma per non entrare qui in una discussione matematica troppo intrigata, ci terrem contenti di far la disamina de'casi particolari più importanti.

Cerchiam da prima in quali congiunture l'emergenza può aver luogo: imperciocchè noi sappiamo che la luce che trovasi in un mezzo più rifrattivo dell'aria non può sempre uscire per ripassare in questa, ma che v'ha per la sua incidenza un angolo limite oltrepassato il quale si genera una riflessione totale.

Sia *v* quest'angolo limite, il quale pel vetro comune è di circa 40° 30', e *g* l'angolo rinfrangente del prisma; considereremo solo i casi in cui si abbia:

$$g=2v, g=v, \text{ e } g<v.$$

1° Se l'angolo rinfrangente del prisma sia doppio dall'angolo limite, nessuno de' raggi entrati per la prima faccia può uscire per la seconda. E per fermo il raggio ch'è entrato parallelamente ad *ai* (*fig.* 172) si rifrange secondo *ii'*, facendo con la perpendicolare un angolo $i'in'=v$. Adunque *ii'* è perpendicolare alla linea *sm* che divide l'angolo rifrangente del prisma in due parti eguali, imperciocchè per ipotesi $msi=v$. Per la qual cosa il raggio *ii'* arriva alla seconda faccia sotto l'angolo limite, e però non può uscire, o almeno è l'ultimo di quelli ch'escono. Ogni altro raggio incidente, come per esempio *li*, darebbe un raggio rifratto *ii''*, il quale arriverebbe più obbliquamente alla seconda faccia, e riceverebbe necessariamente la riflessione totale.

2° Se l'angolo rifrangente sia eguale all'angolo limite, tutt'i raggi che cadano tra la perpendicolare e la base del prisma possono uscire per la seconda faccia.

Ed in vero il raggio che entra secondo la perpendicolare *ni* (*fig.* 173) passa in linea retta ed arriva alla seconda faccia facendo un angolo $ii'n'=v$, imperciocchè quest'angolo è complemento di *ii's* il quale è complemento dell'angolo rifrangente *i'si* che abbiam supposto $=v$; questo raggio dunque è l'ultimo di quelli che possono uscire. Tutti i raggi compresi tra *ai* ed *ni* cadranno sotto un'obbliquità minore, ed usciranno: tutti quelli al contrario che cadranno nell'angolo *sin*, entrando con obbliquità maggiore riceveranno sulla seconda faccia la riflessione totale.

3° Quando l'angolo rifrangente è minore dell'angolo limite, molti de' raggi che cadono sulla prima superficie tra la perpendicolare ed il vertice, possono uscire per la seconda, il che è una chiara conseguenza di quel che testè dicemmo; ma intendesi in pari tempo che i raggi che radono secondo *si* non possono mai uscire, imperocchè essi fanno con la seconda superficie un angolo maggiore di quello che fanno con la prima nell'interno del prisma, e questo è gia l'angolo limite.

Per rendere più agevole l'applicazione di questi principii, presentiamo nella seguente tavola gl'indici di rifrazione e gli angoli limiti di parecchie sostanze.

Nomi delle sostanze	Indici di rifr.	Angoli limiti
Cromato di piombo	2,926	19°59'
Diamante	2,470	23 53
Zolfo	2,040	29 21
Zirconia	2,015	29 45
Granato	1,815	33 27
Spinello	1,812	33 30
Zaffiro	1,768	34 26
Rubino	1.779	34°12'
Topazio	1,610	38 24
Flint	1,600	38 41
Crown	1,533	40 43
Quarzo	1,548	40 15
Allume	1.437	43 21
Acqua (liquida)	1,336	48 28

381. *Del deviamento generato da' prismi ed in particolare del deviamento minimo.*—Quando alla condizione di emergenza si è soddisfatto, i raggi escono realmente per la seconda superficie e trovansi più o meno deviati dalla loro primiera direzione. L'angolo che la immagine diretta fa con quella rifratta dicesi

angolo di deviamento, o anche *deviamento*, quando però l'oggetto sia infinitamente lontano: così se li sia il raggio incidente ed $i'c$ il raggio emergente (*fig.* 174), l'occhio posto in c molto lungi dal prisma potrà nello stesso tempo ricevere un pennello secondo la direzione oci' ed un altro per la direzione ocl' parallela ad li; il primo farà vedere l'obbietto per rifrazione, lo farà vedere direttamente il secondo; e l'angolo $i'cl' = d$ di queste due immagini è appunto il deviamento; è chiaro essere quest'angolo eguale ad oco'.

Per mezzo di calcolo agevole riesce il dimostrare che cotesto deviamento varia con l'angolo d'incidenza, che ha un minimo, e che questo si ha quando gli angoli d'incidenza e di emergenza sono tra loro eguali (*fig.* 174), o che è lo stesso, quando il raggio rifratto ii' fa un triangolo isoscele isi' co' lati del prisma, o finalmente quando l'angolo di rifrazione è $\frac{g}{2}$, g denotando l'angolo rifrangente: e per fermo il triangolo sii' essendo isoscele, $\frac{g}{2}$ sarà complemento di sii' il quale è complemento dell'angolo di corrispondente rifrazione. È questo un fatto degno di nota, perchè in molte sperienze ci giova non poco; d'onde segue che chiamando d l'angolo di minimo deviamento, a l'angolo d'incidenza, e g l'angolo rifrangente del prisma, si avrà:

$$d = 2a - g.$$

E per verità, se per lo stesso punto c si conducano le linee cb e cb' rispettivamente parallele ad sa ed sa', si avrà

$$d = 180° - l'cb - g - b'co;$$

e siccome $b'co = l'cb = lia = 90° - a$, e $d = 180° - 180° + 2a - g$, ovvero $d = 2a - g$, così sarà $a = \frac{d+g}{2}$.

Se si esprima con n l'indice di rifrazione del corpo, si avrà in generale;

$$\frac{\text{sen}\, a}{\text{sen}\, b} = n,$$

e poichè nel caso presente si ha

$$a = \frac{d+g}{2} \text{ e } b = \frac{g}{2},$$

ne segue

$$\frac{\text{sen}\left(\frac{d+g}{2}\right)}{\text{sen}\,\frac{g}{2}} = n,$$

formola importante per la quale possiamo trovare la ragione di rifrazione n osservando solo il deviamento minimo d, essendo sempre agevol cosa il conoscere l'angolo rifrangente g.

Ecco l'ordinamento generale delle sperienze.

382. *Ricerca degl'indici di rifrazione de' solidi e de' liquidi trasparenti.*

1° Pe' corpi solidi se ne fa da prima un prisma il cui angolo rinfrangente si misura col goniometro. Questo prisma è indi verticalmente posto sopra piccola piastra unita al cannocchiale di sopra del cerchio ripetitore (*fig.* 174): cotesta piastra può girare nel suo stesso piano intorno di un asse verticale. Il cannocchiale inferiore del sopraddetto cerchio è diretto verso uno scopo lontano, e fermato in questa giacitura; indi col cannocchiale di sopra si proccura di ricevere l'immagine di rifrazione dello scopo medesimo, il che dovrà riuscire molto agevole particolarmente se il prisma stia perfettamente verticale. In quello che l'immagine arriva sotto il filo del cannocchiale, si fa nello stesso tempo girare il prisma, mercè la piastra ed il cannocchiale, per seguire l'immagine. Dopo alcuni tentativi si troverà la giacitura del deviamento minimo misurata dall'angolo del cannocchiale. Il valore di quest'angolo e quello conosciuto di $\frac{g}{2}$ essendo sostituiti nella formola antecedente, non vi resterà altra incognita oltre di n, che agevolmente potrà essere determinata.

2° Pe' liquidi si procede nello stesso modo, e per dar loro la figura di prisma si fa così: in un prisma di vetro si fa un buco che passi da una parte all'altra (*fig.* 175), ed un altro più piccolo v nella sua base. Il prisma si chiude, adattando sopra ciascuna faccia del prisma una lamina di vetro, le cui superficie sian perfettamente parallele, indi si empie di liquido, ed in v si pone un turaccio smerigliato. Nella intera lunghezza del prisma solido si sogliono fare cinque o sei prismi liquidi.

Tavola degl' indici di rifrazione.

NOMI DELLE SOSTANZE	INDICI di rifrazione	NOMI DELLE SOSTANZE	INDICI di rifrazione
Crom. di piombo, *massimo*.	2,974	Flint-glass	1,576
— *minimo*	2,500	— *altra specie*. . . .	1,596
Diamante	2,755	Quarzo, *rifr. straord.* . .	1,558
Zolfo fuso	2,148	— *rifr. ord*	1,548
— nativo.	2,115	Cristallo di San Gobin . .	1,543
Carbon. di piombo, *massimo*	2,084	Crowu-glass	1,534
— *minimo*	1,813	—	1,533
Rubino	1,779	—	1,525
Feldspato	1,764	Solfato di calce	1,525
Crisoberillo	1,760	Nitro, *massimo*	1,514
Nitrato di piombo. . . .	1,758	— *minimo*	1,335
Carbon. di strontiana, *mas-*		Solfato di potassa. . . .	1,509
simo	1,700	—	1,495
— *minimo*	1,543	Sol. di amm. e di magn. .	1,483
Boracite	1,701	Carbonato di potassa . .	1,482
Vetro di colore arancio . .	1,695	Spermacero fuso	1,446
Solfuro di carbonio . . .	1,678	Spato fluore.	1,436
Aragonite, *rif. ordinaria* .	1,6931	Alcool	1,374
— *rif. straordinaria* . .	1,5348	Albumina	1,360
Spato calcareo, *rifr. ord.* .	1,6543	Etere.	1,358
— *rifr. straord.* . . .	1,4833	Umore aqueo dell' occhio .	1,337
Sólfato di barite	1,6468	Umor vitreo.	1,339
— *rifr. ord*	1,6201	Inviluppo estremo del cri-	
— *rifr. straord.* . . .	1,6352	stallino	1,377
Topazio incoloro	1,6402	Inviluppo medio	1,379
—del Brasile, *rifr. straor*.	1,6401	Parte centrale	1,399
—*rifr. ord*	1,6325	Cristallino intero	1,384
Antidriite, *rifr. straor* . .	1,6219	Acqua	1,336
— *rifr. ord*	1,5772	Cristallo.	1,310
Eucloso, *straordinaria* . .	1,663	Aria	1,000294
— *ordinaria*	1,6429	Vuoto	1,000000
Flint-glass	1,60542		

383. *Del cambiamento di valore dell' indice di rifrazione d' una sostanza quando il corpo che la circonda cambia di natura, e della velocità della luce entro mezzi diversi.* — Nella tavola antecedente gl'indici di rifrazione sono determinati supponendo che la luce passi immediatamente dal vetro entro ciascuna sostanza; ma se la luce passasse per esempio dall' acqua nel vetro; è chiaro che l' indice di rifrazione del vetro per rispetto all' acqua non potrebbe più esser lo stesso di quello del vetro per rispetto al vuoto, quantunque tanto nell' uno quanto nell' altro caso sia costante. Siano n ed n' gl'indici di *rifrazione di due sostanze per rispetto al vuoto, l' indice della seconda per rispetto alla prima sarà* $\frac{n'}{n}$.

Questa capitale verità può essere renduta aperta con esperienze simili a quelle per le quali generalmente si determinano gl' indici di rifrazione; per la qual cosa basterà unire due prismi di diversa materia, od opponendo i loro angoli o girandoli per lo stesso verso (*fig.* 177), ed osservare il deviamento che questo sistema imprime alla luce. Gli angoli d' incidenza e di emergenza essendo noti, del pari che gli angoli rifrangenti de' prismi insieme con gl' indici di rifrazione di questi per rispetto al vuoto, agevole riuscirà per mezzo del calcolo ritrovare gli angoli imn, $i'mn'$ che il raggio fa con la superficie comune, e verificare se i loro seni serbino la ragione degl' indici n e n'. Si può del pari far uso di due lamine parallele sopprapposte (*fig.* 178); allora si conosce per esperienza che il raggio incidente li e l' emergente $i'e$ sono sempre paralleli. Or n, n' essendo gl' indici di rifrazione della prima

e della seconda sostanza per rispetto al vuoto, si ha

$$\frac{sena}{senb} = n, \text{ e } \frac{senai}{senb'} = \frac{1}{n'},$$

a è l'angolo lin
b . . l'angolo $mini = imp$
a' . . . l'angolo $mi'q = i'mp'$
b' . . . l'angolo $ei'qi$.
E poichè $a = b'$, ne segue:

$$\frac{sena'}{senb} = \frac{n}{n'}, \text{ ovvero } \frac{seni'mp'}{senimp} = \frac{n}{n'}.$$

Passando dunque dal primo mezzo al secondo, la luce fa angoli i cui seni sono in una ragione costante eguale a quella degl' indici di questi mezzi per rispetto al vuoto.

Da ciò rendesi aperto che un raggio di luce che attraversi un numero qualunque di mezzi a facce parallele, trovasi sempre nell'ultimo di tali mezzi, rifratto come lo sarebbe stato se fosse entrato immediatamente sotto la stessa incidenza. Laonde se un raggio cadesse immediatamente sul secondo mezzo in m (*fig.* 178) parallelamente ad li, esso si rifrangerebbe secondo mi' ed uscirebbe secondo $i'e$.

Appresso dimostreremo che la velocità di propagazione della luce è varia ne' vari mezzi, e che la ragione delle sue diverse velocità in due mezzi è precisamente la ragione inversa degl' indici di rifrazione de' medesimi; e però la maggiore velocità si ha nel vuoto e la minima nel cromato di piombo ch' è il più rifrattivo tra tutti i corpi. Avvicinando questo fatto all' antecedente, rendesi aperto che nello stesso mezzo la luce ha sempre la stessa velocità, sia quale si voglia il cammino che fa e le rifrazioni cui va soggetta per via.

384. *Ricerche della ragione della rifrazione dei corpi opachi* — I fenomeni della riflessione totale, dei quali di sopra è detto, guidarono il Wollaston ad un ingegnoso metodo per ritrovare l'indice di rifrazione di alcuni corpi opachi, e quindi il potere rifrattivo e rifrangente de' medesimi.

Figuriamoci un prisma rettangolare diafano abd (*fig.* 176) che abbia una delle sue facce ad orizzontale, ed immaginiamo che una goccia di un liquido sia immediatamente applicata verso questa superficie in i; sia n l'indice di rifrazione del prisma, n' quello del liquido, sia vv' una riga verticale sulla quale scorre un *traguardo* ossia una piastrina forata da piccol buco per poter guardare nella direzione oe e nelle altre direzioni più o meno oblique. Se il prisma sia di crown-glass, il cui indice è 1,535, l'angolo limite sarà di 40° 39, e quindi il raggio che entrasse parallelo ad ad andrebbe a cadere sopra bd, facendo un angolo di 90° — 40° 39' = 49° 21', e non potrebbe uscire. Per la qual cosa guardando per la faccia bd non si vedrà alcun obbietto posto al di là di ad; ma si potrà solo per riflessione totale veder gli obbietti che trovansi dinanzi ad ab. E questo si rende aperto con la esperienza per tutti quei punti del prisma che non sono coperti di liquido; ma dove il liquido tocca il vetro, un altro fenomeno si appalesa. La luce che viene per varie direzioni, come per $l'i$, passa nella goccia senza soffrire la riflessione totale, e l'occhio posto nella direzione $o'e'$ vede in i una macchia nera come se lo *specchio ad* fosse bucato. Ma secondo che l'occhio si abbassa verso o per guardare mercè di raggi più obbliqui, la goccia apparisce meno nera; e finalmente *se il liquido è meno rifrattivo del prisma*, accade che ad una certa obbliquità, come oe per esempio, la goccia tosto sparisce, la superficie ad fa da per tutto da perfetto specchio. Or misurando quest' obbliquità di sparizione, ossia l'angolo cov, si può determinare l'indice n' del liquido che bagna il prisma in i: e per fermo conoscendosi quest' angolo se ne conoscerà il complemento $oep = a$. Sostituendo questo valore e quello di n nella formola

$$\frac{sena}{senb} = n,$$

se ne ricaverà l'angolo $b = p'ei$, per conseguenza il suo complemento $eiq = qil$. Or poichè sotto questa obbliquità la goccia comincia a sparire, è chiaro che il raggio li è il raggio limite, quello cioè che passando nel liquido dà un raggio emergente parallelo ad ad; si ha dunque:

$$\frac{sen90^\circ}{senliq} = \frac{n}{n'}; \text{ donde ricavasi } n' = n.senliq.$$

A questo incognito valore di n' si può dare un' altra forma esprimendolo direttamente mercè l'angolo osservato oep, che noi diremo v. Allora si avrà:

$$n'^2 = n^2 - cos^2 v.$$

questa formola appartiene ai corpi diafani che toccano il prisma: ma se questi corpi sono opachi, allora si adopera quest'altra formola

$$n'^2 = n^2 - 2cos^2 v.$$

I ragionamenti co' quali abbiamo dimostrata la prima formola non valgono a rendere aperta la seconda; e se è mestieri accoglierla pei corpi opachi come lo indica la dottrina dell'emissioni, è necessario anche trovare nella teorica delle ondulazioni dei ragionamenti che la giustifichino, giacchè pare dover riuscire insufficienti quelli che potremmo arrecare.

385. *Della potenza rifrattiva, e della forza rifrangente.* — Si è convenuto di dare il nome di *potenza rifrattiva* di una sostanza al quadrato del suo indice di rifrazione diminuito di 1; ossia n^2-1. Non è questa una definizione interamente arbitraria, come a prima giunta potrebbe sembrare: la quantità n^2-1 ha ricevuto un nome particolare, perocchè essa ha un'attinenza semplice ma importante con la causa della rifrazione nella dottrina dell'emissione; essa dinota l'accrescimento del quadrato della velocità della luce che passa dai vuoto nelle varie sostanze; imperocchè secondo questa dottrina è forza il supporre che la luce aumenti di velocità quante volte passi entro sostanze più rifrattive. Nella dottrina delle vibrazioni questa stessa quantità deriva dal diverso grado di condensazione dell'etere.

La potenza rifrattiva può essere estimata in un modo assoluto ed in un modo relativo: 1,326 e 0,735 per esempio sono le potenze rifrattive assolute del vetro e dell'acqua, ossia i valori di n^2-1, corrispondenti a coteste sostanze; ma dividendo il primo di questi numeri pel secondo, si avrebbe 1, 690, che sarebbe la potenza rifrattiva del vetro per rispetto a quella dell'acqua.

La *forza rifrattiva* di una sostanza è il quoziente della sua potenza rifrattiva per la sua densità. Così la forza rifrattiva del vetro comune è 0, 533, e quella dell'acqua 0, 785; e se si volesse aver la ragione del primo al secondo, prendendo il secondo per unità, sarebbe mestieri dividere 9, 533 per 0, 785, e si avrebbe 0, 679 per la forza rifrattiva del vetro per rispetto all'acqua.

Quando una sostanza si dilata o si condensa o per un'azione meccanica o per lo calorico, il suo indice di rifrazione varia con la densità; ma sembra che la forza rifrattiva resti sensibilmente costante, purchè però questa sostanza non si riduca in gas, imperocchè di corto vedremo in questo caso il potere rifrattivo ricevere una diminuzione sensibile.

386. *Ricerca dell'indice di rifrazione dei gas, della loro potenza rifrattiva, e della loro forza rifrattiva.* — Per determinare l'indice di rifrazione dell'aria, si potrebbe far passare la luce in un prisma di aria di un dato angolo; ma più facile riesce l'esperienza inversa: si fa passare il raggio a traverso d'un prisma vuoto circondato da aria; e l'indice di rifrazione si determina anche nello stesso modo che si è fatto pe' solidi e pei liquidi, mercè la conoscenza cioè dell'angolo rifrangente del prisma, dell'incidenza della luce sulla prima superficie, dell'emergenza per la seconda e del deviamento, aggiungendo a questi dati la temperatura e la pressione dell'aria circostante. Trovato una volta l'indice di rifrazione dell'aria, si arriva con esperienze simili a determinare l'indice dei varj gas per conosciute temperature e pressioni. Cotesta delicata ed importante quistione fu trattata da Arago e Biot nel 1805, e dal signor Doiung nel 1825. Noi procureremo di esporre solamente il metodo tenuto da questi valenti fisici ed i risultamenti ai quali pervennero.

Arago e Biot adoperarono un prisma a gas, espresso in sezione nella figura 180. Esso è composto di un tubo di vetro tt' di 20 a 30 centimetri di lunghezza, sopra 4 in 5 centimetri di diametro, i cui estremi son da prima tagliati di sbieco secondo le direzioni tf e $t'f'$, ed indi coperti e chiusi ermeticamente da lamine di vetro a facce parallele. L'angolo che forman queste lamine tra loro è appunto l'angolo del prisma; esso dev' esser grandissimo per la poca forza rifrattiva del gas; nello strumento di Arago e Biot questo angolo era di 140° 7' 28''. Nel mezzo della lunghezza del tubo e parallelamente alla superficie del prisma, sonovi due aperture opposte per potere a piacimento introdurre o estrarre il gas sul quale si vuol fare l'esperienza con l'aiuto d'una macchina pneumatica. I piccoli tubi uniti a mastice a queste aperture portano le corrispondenti chiavette, e comunicano con un barometro che in ogni momento fa conoscere la intera pressione del gas che trovasi al di dentro del prisma.

Supponghiamo che il prisma sia vuoto, stia verticale, e posto in un luogo donde si possa guardare ad uno scopo lontano (*fig.* 180): l'osservatore messo in o vedrà un' immagine diretta ol di questo scopo, ed un' altra rifratta oe; l'angolo loe che esprime il deviamento dovrà essere osservato con molta precisione, imperocchè esso arriverà appena a 5 o 6 minuti; per mezzo di questo e dell'angolo rifrangente del prisma si potrà coll' aiuto della formola precedente trovare l'indice di rifrazione, se siasi scelta la giacitura del minimo: se non che sarà mestieri fare le necessarie correzioni per l'aria che rimane nel prisma, o per la

mancanza di perfetto parallelismo delle lamine onde son fatti i lati del medesimo.

Per via di precise e ripetute esperienze Biot ed Arago sonosi renduti certi che alla temperatura di 0° e sotto la pressione di 0m, 76 l'indice di rifrazione dell'aria per rispetto al vuoto assoluto è di 1 000294, però la sua potenza rifrattiva è 0,000588. Questo risultamento trovasi perfettamente conforme a quello che il Delambre avea ricavato dalle rifrazioni astronomiche.

Conosciuto l'indice di rifrazione dell'aria, si fa passare nel prisma un altro gas, e dopo di avere osservato il deviamento che ne deriva, resta solo a fare il calcolo necessario per ricavarne gl'indici di rifrazione e le potenze rifrattive. Biot ed Arago han fatto l'esperienze sull'aria e sui gas ossigeno, idrogeno, azoto, ammoniacale, acido carbonico, ed acido idroclorico, ed hanno così fermato per principio fondamentale che le *potenze rifrattive di un gas seguon la ragione della densità del medesimo*, o, che vale lo stesso, che *la forza rifrattiva di un gas è costante per tutte le temperature e pressioni*. Questo principio è vero del pari quando i gas si mescolano in un modo qualunque; vale a dire che la potenza rifrattiva del mescuglio eguaglia la somma di quelle degli elementi. Ma noi vedremo, seguendo le ricerche del Dulong, che quando i gas si *combinano*, la potenza rifrattiva del prodotto finisce di essere eguale alla somma di quelle dei componenti.

Il Dulong si pose in animo principalmente di paragonare tra loro le potenze rifrattive dei gas, presi alla stessa temperatura e sotto la stessa pressione; l'ingegnoso artifizio da lui adoperato lo ha posto in grado di avere risultamenti che difficilmente avrebbonsi potuto sperare in così delicate ricerche. Cotesto artifizio consiste a dare ai diversi gas una tale densità per la quale essi ingenerano lo stesso deviamento di luce; per la qual cosa un prisma simile all'antecedente avente un angolo di 145° circa è posto in comunicazione con un riserbatolo r (*fig.* 179), nel quale si può fare il vuoto per mezzo della macchina pneumatica da una parte, ed introdurre dall'altra un qualunque gas, variando a piacimento la pressione. Si fa per esempio una prima esperienza introducendo nel prisma dell'aria asciutta, sotto l'ordinaria pressione, e ad una conosciuta temperatura; con un buon cannocchiale posto ad una certa distanza si guarda l'immagine di uno scopo lontano rifratta attraverso del prisma; ciò posto si ferma il cannocchiale in questa giacitura, si vòta perfettamente il prisma senza smuoverlo, e vi s'introduce un altro gas, per esempio acido carbonico, variando la pressione fino a che l'immagine rifratta dello scopo non ricada sotto i fili del cannocchiale. La temperatura essendo rimasta la stessa, fingiamo che la pressione dell'acido carbonico nel prisma sia di 0,498: sotto questa pressione l'acido carbonico deviando la luce quanto l'aria sotto la pressione 0,76, è chiaro appartenergli lo stesso indice di rifrazione e la stessa potenza rifrattiva, e poichè le potenze rifrattive son proporzionali alle densità, si avrà:

$$1 : x :: 0,498 : 0,76 ;$$

donde ricavasi $x = 1,526$, che sarà la potenza rifrattiva dell'acido carbonico sotto la pressione di 0,76 alla stessa temperatura dell'aria.

Simili esperienze fatte sopra i gas semplici o composti, daranno, come è chiaro, le potenze rifrattive dei medesimi per rispetto all'aria per mezzo di una semplice proporzione.

I risultamenti del Dulong trovansi registrati nella seguente tavola.

Tavola delle potenze rifrattive dei gas e dei loro indici di rifrazione a 0° e 0m, 76.

Nomi de' gas	Pot. rifrat. per rispetto all'aria.	Potenze rifrat. assolute	Indici di rifrazione
Aria atmosferica	1,000	0,000589	1,000294
Ossigeno	0,924	0,000544	1,000272
Idrogeno	0,470	0,000277	1,000138
Azoto	1,020	0,000601	1,100300
Ammoniaca	1,309	0,000771	1,000385
Acido carbonico	1,526	0,000899	1,000449
Cloro	2,623	0,001545	1,000772
Acido idroclorico	1,527	0,000899	1,000449
Ossido d'azoto	1,710	9,001007	1,000503
Gas nitroso	1,030	0,000606	1,000303
Ossido di carbonio	1,157	0,000681	1,000340
Cianogeno	2,832	0,001668	1,000834
Gas olcogenico	1,302	0,001356	1,000678
Gas di palude	1,504	0,000886	1,000443
Etere muriatico	3,720	0,002191	1,001095
Acido idrocianico	1,531	0,000903	1,000451
Gas ossicloro carb.	3,936	0,002318	1,001159
Acido solforoso	2,260	0,001331	1,000665
Idrogeno solforato	2,187	0,001288	1,000644
Etere solforico	5,197	0,003061	1,001530
Solfo carburato	5,110	0,003010	1,001500
Idrogeno protofosf.	2,682	0,001579	1,000789

I numeri della prima colonna sono i risultamenti diretti dell'esperienza; moltiplicandoli per 0,000589 potenza rifrattiva dell'aria, si hanno i numeri della seconda colonna, ossia $n^2 - 1$; per avere poi gl'indici di rifrazione basterà aggiungervi l'unità ed estrarre la radice quadrata.

Dal paragone di questi numeri se ne possono tirare le illazioni che seguono:

1° Non si scopre alcuna ragione tra i numeri che esprimono le potenze rifrattive del gas e quelli che esprimono le densità dei medesimi; imperciocchè cotesti numeri talvolta crescono nell'ordine medesimo e talvolta in ordine inverso.

2° La potenza rifrattiva di un mescuglio è eguale alla somma delle potenze rifrattive degli elementi. L'aria per esempio essendo composta di 0,21 di ossigeno e di 0,79 di azoto, si trova che la somma delle potenze rifrattive degli elementi è 0,99984 che differisce assai poco dall'unità. Il signor Dulong ha fatto anche delle sperienze dirette sopra parecchi mescugli artificiali per verificare questo fatto che servì per principio alle sue ricerche.

3° La potenza rifrattiva di un composto gassoso è or più or meno della somma delle potenze rifrattive dei componenti; il che rendesi aperto mercè la seguente tavola, nella quale la prima colonna rappresenta le potenze rifrattive osservate e la seconda quelle calcolate secondo gli elementi costitutivi, tenendo conto delle condensazioni che ricevono.

Potenze rifrattive de' fluidi elastici composti.

La potenza rifrattiva dell'aria = 1

Nomi de' gas	Pot. rifrat. osservate	Pot. rifrat. calcolate	Ecces. dell'oss. sul calcolo
Ammoniaca	1,309	1,216	+ 0,093
Ossido di azoto	1,710	1,482	+ 0,228
Gas nitroso	1,030	0,972	+ 0,058
Acqua	1,000	0,933	+ 0,067
Gas clorossicarb.	3,936	3,784	+ 0,015
Etere muriatico	3,720	3,829	— 0,099
Acido idrocianico	1,521	1,651	— 0,130
Acido carbonico	1,526	1,629	— 0,093
Acido idroclorico	1,527	1,547	— 0,020

Le differenze son troppo grandi perchè si possa crederle derivate da errori nelle osservazioni; nè si può supporre che provengano da mancanza di purezza nei gas, imperciocchè è noto il valore del Dulong e la scrupolosa precisione con cui egli faceva le sue preparazioni.

4° La forza rifrattiva d'una sostanza allo stato liquido è maggiore di quella della stessa allo stato gassoso. Questo principio di già rifermato sopra esperienze dirette da Arago e Petit (*Ann. de Chim. et de Phys.* t. 1, pag. 1), si trova rifermato mercè le esperienze del Dulong. E per fermo, la forza rifrattiva del carburo di zolfo per rispetto all'aria è uguale alla sua potenza rifrattiva anche per rispetto all'aria, poichè 5,179 diviso per la densità 2,644 dà 1,932; il carburo di zolfo liquido avendo una densità 1,263 e per indice di rifrazione 1,678, la sua potenza rifrattiva assoluta sarà perciò 1,816, ed 1,438 la sua forza rifrattiva assoluta. Ma l'aria avendo una potenza rifrattiva assoluta di 0,000588 ed una densità, per rispetto all'acqua, di 0.001299, la sua forza rifrattiva assoluta è 0,453. Per la qual cosa la forza rifrattiva del carburo di zolfo liquido per rispetto all'aria è 1,438 diviso per 0,453, ossia 3,176. Onde il carburo di zolfo allo stato liquido ha una forza rifrattiva maggiore di 3, nell'atto che l'ha meno di 2 nello stato gassoso.

Lenti.

387. *Proprietà generali delle lenti.* — Le lenti son corpi diafani che han la proprietà di accrescere o scemare la convergenza de' fasci di luce che gli attraversano.

Noi dobbiam qui solo discorrere delle *lenti sferiche*, di quelle cioè le cui superficie sono o piane o sferiche, imperciocchè son queste le sole ch'entrano nella composizione di varî strumenti di ottica; simili per altro sono i risultamenti che avrebbonsi da lenti ellittiche, paraboliche, cilindriche, ec.

Combinando in tutti i modi possibili superficie piane e sferiche, possonsi avere sei lenti diverse:

La prima (*fig.* 181) è la lente *convesso-convessa*, composta di due superficie sferiche convesse i cui raggi sono eguali o disuguali.

La seconda (*fig.* 182) è la lenta *piano-convessa*.

La terza (*fig.* 183) è il *menisco convergente*: questo è formato da due superficie sferiche, una concava e l'altra convessa, ma il raggio della prima è maggiore di quello della seconda.

La quarta (*fig.* 184) è la lente *concavo-concava*.

La quinta (*fig.* 185) è la lente *piano-concava*.

La sesta finalmente (*fig* 186) è il *menisco divergente*: esso è terminato da due superficie sferiche l'una concava e l'altra convessa, ma il raggio della prima è più piccolo di quello della seconda.

Le tre prime sono ad *orli taglienti* e *convergenti*.

Le tre ultime sono ad *orli larghi* e *divergenti*.

L'*asse* di una lente è la linea matematica cc' che unisce i due centri di curvatura delle due superficie; per le lenti piano-concave e piano-convesse, l'asse cp è la perpendicolare abbassata dal centro di curvatura sul piano.

Per dimostrare che le lenti hanno de' fuochi *reali* o *virtuali*, prenderem da prima una lente d'indefinita grossezza la quale volga la sua convessità verso un punto luminoso s posto sul suo asse. Sia sd (*fig* 187) un raggio incidente, cd la perpendicolare elevata dal punto d'incidenza, e dt il raggio rifratto che va a tagliare l'asse nel punto t; esprimiamo con x, y, z gli angoli che hanno i vertici ne' punti s, c, t e che son sottesi dall'arco ad; con b, r, m le distanze di questi punti dal punto a, cioè as, ac, at; da ultimo con p, q gli angoli d'incidenza e di rifrazione sdp e cdt. Tutti questi angoli supponghiamo così piccoli da poterli prendere invece dei loro seni o delle loro tangenti; chiamando n l'indice di rifrazione della materia della lente, è facile prima di tutto intendere che

$$\operatorname{sen} p = n \operatorname{sen} q, \text{ ossia } p = nq;\ p = x + y;\ y = z + q.$$

Per mezzo di queste tre equazioni eliminando p e q si ha;

$$x + nz = y(n-1)$$

ovvero

$$\frac{ad}{b} + \frac{nad}{m} = \frac{ad}{r}(n-1), \text{ossia } \frac{1}{b} + \frac{n}{m} = \frac{n-1}{r},$$

quando si sostituiscan le tangenti invece degli angoli, essendo che l'arco ad può esser tenuto come una linea retta perpendicolare ad as (1).

Questo risultamento non dipendendo dagli angoli d'incidenza e di rifrazione, ne segue che sotto le supposte condizioni tutti i raggi che partano dal punto s cadono al punto t

(1) Tutto questo calcolo s'intende agevolmente ricordandosi quello che abbiam detto nelle note alla pag. 66 e seg.

dell' asse ad una distanza m. Ivi dunque si ha un *fuoco* per rifrazione, e questo sarà *reale* se è relamente il punto ove i raggi concorrono, *virtuale* poi se è il punto dove concorrono i loro prolungamenti.

Pare agevole il mettere in disamina l' antecedente formola in tutta la sua generalità; ma per farne meglio intendere i risultamenti, supporremo la lente di vetro: allora essendo $n = \frac{3}{2}$, questa formola diventerà

$$\frac{1}{b} + \frac{3}{2m} = \frac{1}{2r}.$$

1° Quando $b = \infty$, si ha $m = 3r$; cioè che se il punto luminoso sta all'infinito, ossia se i raggi incidenti sono paralleli all'asse, il punto d'incontro accade ad una distanza tripla del raggio di curvatura della lente. Ancora il valore di m essendo positivo, il fuoco sarà reale.

2° Quando $b = 2r$, si ha $m = \infty$; cioè il punto luminoso avvicinandosi dall'infinito fino a $2r$, il fuoco si allontana da $3r$ fino all' infinito.

3° Quando $b < 2r$, m avrà un valore *negativo*; il che vuol dire che allora il fuoco è virtuale, e la lente non ha più efficacia per unire i raggi entro di se; questi allora restan divergenti, ed i loro prolungamenti vanno in un punto dell' asse, ma al di fuori della lente e al di là del punto s siccome è agevole ad intendere.

4° Se si diano a b valori negativi, questo significa che i raggi incidenti sono già in istato di convergenza, ed i corrispondenti valori di m danno il nuovo punto di concorso più vicino di quello che la rifrazione darebbe entro la lente; il che si può verificare facendone delle applicazioni numeriche o geometriche.

Abbiam trovata l'antecedente formola supponendo la lente convessa verso il punto luminoso; ma è facile, mercè una costruzione diretta, intendere che per applicarla alle lenti concave basta cambiare il segno di r, ritenendo la condizione che quando m è positiva il fuoco è reale.

Fermati questi principj, possiamo sapere quello che accade alle lenti ordinarie o a due superficie curve la cui grossezza può essere negletta.

Sia s (*fig.* 188) un punto luminoso posto sull' asse di una lente convesso-convessa; se questa avesse una grossezza indefinita, la distanza b' del punto d'incontro dei raggi incidenti sarebbe data dalla formola

$$\frac{1}{b} + \frac{n}{b'} = \frac{n-1}{r},$$

essendo b, n ed r gli stessi di prima; ma i raggi rifratti quasi nell'uscire dalla prima superficie vanno ad incontrare la seconda per passare dal vetro nell'aria, ed il loro nuovo punto d'incontro avverrà ad una distanza data dalla formola

$$-\frac{1}{b'} + \frac{n'}{m} = \frac{n'-1}{r'}$$

nella quale r' è il raggio di curvatura della seconda superficie, ed n' l'indice di rifrazione del vetro per rispetto all' aria, in modo che $n' = \frac{1}{n}$. Qui però è mestieri avvertire che il primo termine è negativo, imperocchè i valori di b' rispetto alla seconda superficie della lente sono necessariamente di segno contrario a quelli considerati rispetto alla prima.

Eliminando b' tra queste due equazioni, e ponendo $\frac{1}{n}$ in vece di n', si perviene alla seguente equazione:

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{m} = \frac{n-1}{r} - \frac{n-1}{r'},$$

dalla quale ricavasi m per mezzo di b, r, r' ed n; il fuoco poi sarà reale o virtuale secondo che m si trova positiva o negativa.

Supponendo $b = \infty$, e chiamando f il corrispondente valore di m, ne risulta

$$\frac{1}{f} = \frac{n-1}{r} - \frac{n-1}{r'}.$$

Questo valore di f, ovvero la distanza focale dei raggi paralleli, è ciò che dicesi *distanza focale principale*. Si hanno allora due equazioni

$$f = \frac{r'r}{(n-1)(r'-r)}, \quad \frac{1}{m} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b},$$

le quali comprendono tutta la teorica delle lenti.

Discutendone la prima, è agevole il conoscere che per le lenti convergenti il valore di f è sempre positivo, e sempre negativo per le divergenti; donde segue il *fuoco principale* essere ognor *reale* per le prime e *virtuale* per le seconde. E per fermo

Lente convesso-convessa

$$r = +, r' = -, f = +$$

Lente piano-convessa

$$r = +, r' = \infty, f = +.$$

Menisco convergente

$r=+, r'=+, f=+$ perchè $r'>r$.

Lente concavo-concava

$r=-, r'=+, f=-$

Lente piano-concava

$r=-, r'=\infty, f=-$

Menisco divergente

$r=-, r'=-, f=-$ perchè $r'>r$.

Gli assoluti valori di f si possono agevolmente calcolare quando si conosce r, r' ed n. E per contro conoscendosi f ed n si può determinare la ragione che hanno tra loro i due raggi di curvatura.

Ponendo in disamina la seconda delle antecedenti equazioni, si vede che

$$b=\infty \text{ dà } m=f$$
$$b=2f \quad m=2f$$
$$b=f \quad m=\infty$$
$$b=\frac{f}{2} \quad m=-f,$$

risultamenti facili ad interpretare dopo le cose dette in parlando degli specchi, e facili anche a verificare con esperienze, tanto per la luce solare, quanto per quella di una fiamma.

Finora abbiamo supposto che i punti luminosi si trovassero sull'asse della lente: ora ci faremo a dimostrare come le stesse formole si applicano anche ai punti lucidi posti fuori dell' asse, purchè i corrispondenti assi secondarî facciano col primario angoli infinitamente piccoli: chiamasi *asse secondario* la linea retta menata pel centro della lente e per qualunque punto luminoso posto fuori dell'asse principale. Sia s (*fig.* 189) un punto luminoso, sat l'asse secondario che vi corrisponde, sd ed sd' i raggi che cadono sulla lente e sono dalla medesima rifratti: tutti questi raggi andrannosi ad unire nello stesso punto t dell'asse secondario, e le distanze as ed at che indicheremo con b ed m hanno tra loro un riferimento espresso dall'equazione seguente:

$$\frac{1}{b}+\frac{1}{m}=\frac{1}{f},$$

f essendo la distanza focale principale della lente. E per fermo, se noi riferiamo i punti s e t in s'' e t'', in modo che si abbia anche $as''=b$, $at''=m$, i triangoli ass'', att'' potranno allora essere considerati come triangoli rettangoli in s'' e t''. Prendiamo in considerazione il raggio incidente sd ed il suo raggio emergente dt: sieno s' e t' i punti in cui questi raggi tagliano l'asse b' ed m' le corrispondenti distanze as' ed at'; è chiaro che per queste distanze debba valere l'equazione

$$\frac{1}{b'}+\frac{1}{m'}=\frac{1}{f};$$

e se la prima equazione è vera, siccome si concesse, ne seguirà:

$$\frac{1}{b}+\frac{1}{m}=\frac{1}{b'}+\frac{1}{m'}.$$

Ora egli è agevole intendere che questa equazione è di fatto perfettamente giusta, imperocchè chiamando v l'angolo dei due assi ed x' e z' gli angoli dsa, $dt'a$ si ha

$$tang x'=\frac{ad}{b}, \ tang x=\frac{ss'}{b-b'}, \ tang z=\frac{tt'}{m'-m}$$

$$tang z'=\frac{ad}{m'}, \ tang v=\frac{ss'}{b}, \ tang v=\frac{tt'}{m}:$$

donde

$$\frac{tang x'}{tang z'}=\frac{m'}{b'}, \ \frac{tang x'}{tang v}=\frac{b}{b-b'}; \ \frac{tang z'}{tang v}=\frac{m'}{m'-m}$$

Eguagliando i due valori di $\frac{tang x'}{tang z'}$ che si hanno da queste tre ultime equazioni, si ha

$$\frac{b(m'-m)}{m(b-b')}=\frac{m'}{b'}, \text{ donde } \frac{1}{b}+\frac{1}{m}=\frac{1}{b'}+\frac{1}{m'}$$

il che dimostra chiaramente la giustezza dell'equazione

$$\frac{1}{b}+\frac{1}{m}=\frac{1}{f}$$

applicata all'asse secondario sat.

Il *campo della lente* è misurato dall' angolo che possono fare gli assi secondarî senza cessare di produrre immagini bastantemente precise.

Nell'atto che l'*apertura della lente* è l'angolo sotto di cui essa è veduta dal fuoco principale; questo angolo non può oltrepassare i 10 o 12°. Quando esso è maggiore si avrà l'*aberrazione di sfericità*; i raggi cioè che cadono verso gli orli della lente non vannosi ad unire nello stesso punto con quelli che passano più vicini al centro.

D'onde segue che un obbietto ss' (*fig.* 190) compreso nel campo di una lente e posto sulla superficie di una sfera che abbia il suo centro in a, darebbe un' immagine rovescia molto netta nella superficie tt' di un'altra sfera che avesse lo stesso centro. Onde nei fuochi delle lenti si hanno delle immagini degli obbietti siccome nei fuochi degli specchi, e dal centro ottico della lente tanto l'immagine quanto l'obbietto sono veduti sotto lo stesso angolo. Sia

v quest'angolo, g, g' le assolute grandezze dell'obbietto e della sua immagine, egli è agevole l'intendere che sarà

$$g' = m \tang v, \text{ donde } g' = \frac{bf}{b-f} \tang v.$$

Quando gli obbietti sono molto lontani, b è grandissima per rispetto ad f, e la formola diventa

$$g' = f. \tang v.$$

Per la qual cosa l'angolo medio del sole essendo di 31', la sua immagine avrà 9 millimetri al fuoco di una lente che abbia un metro di distanza focale principale.

Quando gli obbietti non sono molto lontani, si può invece di *tangv* porre il suo valore $\frac{g}{b}$, e la formola diventa

$$g' = \frac{gf}{b-f}, \text{ ossia } g' = g \frac{m}{b}.$$

Sarebbe qui inutile di cercare i fuochi delle lenti cilindriche: ne abbiamo solo espressa una nella figura 192 per mostrare che l'immagine di un fascio parallelo è sensibilmente una linea retta parallela all'asse del cilindro.

388. *Lenti di Fresnel.* — Fresnel è giunto a fabbricare delle lenti di varie forme, mercè le quali la luce de' fari si estende sul mare alla distanza di dodici o quindici leghe, con isplendore sufficiente ad indicare ai naviganti il loro sito preciso e mostrare anche gli scogli o i pericoli della costa. Cotesta applicazione e così importante, ed è stata fatta con tanto successo, ch'è sembrato necessario di darne qui un'idea. La figura 195 rappresenta una lente anulare tagliata per mezzo; essa è composta di un segmento sferico a intorno al quale son disposti parecchi anelli b, c, d, il cui taglio si vede in b', c', d', (*fig.* 194). La curvatura di questi anelli è regolata in modo che ognuno di essi abbia lo stesso fuoco f che il segmento a; onde un fanale essendo posto in f, tutta la luce che da esso va sulla lente forma dopo di averla attraversata un ampio fascio quasi parallelo, il quale lo sarebbe perfettamente se tutt' i punti luminosi del fanale potessero stare giusto nella principal distanza focale. L'indebolimento dell' intensione della luce essendo in ragion della divergenza de' raggi d'uno stesso fascio, ed anche in ragion della divergenza degli assi dei diversi fasci, ne segue che in questo caso sia poco considerabile questo indebolimento, e che però si possa illuminare ad una grandissima distanza. Potrebbe forse alcuno per avventura credere, aversi lo stesso vantaggio dalle lenti comuni; ma queste, siccome noi abbiamo altrove notato, non possono avere un' apertura maggiore di 12° in 15°, nell' atto che gli anelli della lente di Fresnel sono ordinati in modo che essa possa avere un' apertura di oltre 40°; di tal che mena per la stessa direzione nove volte più di luce, senza tener conto della minor copia che ne assorbe, essendo più sottile. Secondo questi principî, ma variando la forma de' vetri rifrattivi ed imprimendo ad essi de' moti di rotazione regolari, Fresnel ha fondato un nuovo sistema d' illuminazione, la cui somma utilità è ormai riconosciuta da tutte le nazioni marittime d' Europa. Indicheremo solo la struttura de' *fuochi di porto* e quella de' *fuochi giranti* del primo ordine. La figura 196 rappresenta un *fuoco di porto*. La luce è somministrata da una lampada d' Argante che consuma 45 gr. d' olio ad ora; il lucignolo ha due centimetri di altezza. Tutti i raggi son menati orizzontalmente tanto per rifrazione quanto per riflessione. Il sistema rifrattivo è composto di cinque anelli soprapposti n, le cui esterne superficie hanno una conveniente curvatura; ed il sistema riflettente è composto di otto anelli prismatici p, cinque sopra e tre sotto, tagliati e disposti in guisa che la luce debba ricevere sulle loro ampie facce una riflessione totale, nell' atto che per le altre facce entra ed esce sotto piccole obbliquità. In grazia di questa disposizione, tutta la luce è ridotta in una falda orizzontale di piccola grossezza, ed è menata con pari splendore verso tutt' i punti dell' orizzonte. Ma Fresnel aggiunge a tutto questo un altro sistema mobile espresso in elevazione ed in pianta in m (*fig.* 197), col quale si genera uno splendore periodico che rinnovasi regolarmente, come per esempio tre volte ogni minuto. Questo sistema mobile è formato da due lenti cilindriche verticali portate dal piano z, il quale è mosso da un peso mercè le ruote *ingranate* y; questo piano poi sta sostenuto dalle rotelline e, le quali sono acconce a scemare l' attrito; le lenti m hanno anche i loro fuochi nel mezzo della fiamma, e per la maniera onde sono fatte ciascuna di esse riduce in un fascio parallelo una gran quantità di luce. In tal modo due segmenti dell' orizzonte sono più fortemente illuminati del resto: l' osservatore che trovasi in uno di questi punti, riceve una luce assai chiara; ma la lente che la invia continuando il suo moto di rotazione, accadrà un' ecclisse che durerà fino a che l' altra lente non sia ridotta nella stessa direzione. Ognun comprende quanto sia utile il variare cotesti effetti, tanto per poter menare anche più lungi la luce, quanto perchè si possano i fari vicini sulla stessa costa discer-

nere, mercè i vari periodi di luce e di ecclissi che presentano.

Pe' fuochi di ordine più alto maggiori esser debbono le distanze focali, e sarebbe molto difficile il lavorare degli anelli di vetro di sufficiente diametro; per la qual cosa si compone invece un sistema di rifrazione fisso di lenti cilindriche orizzontali simili a quelle dinotate dalle figure 198, 199 e 200. Con 32 di queste lenti si fa un prisma a 32 facce, il quale fa le veci del sistema circolare del quale di sopra è detto.

La figura 191 rappresenta un fuoco girante di primo ordine. Qui la luce si ha da 4 lucignoli concentrici i quali consumano 750 grammi d' olio in ogni ora. Il sistema di riflessione è fisso e quello di rifrazione interamente mobile. Il primo è composto di specchi di vetro amalgamato, i quali sono ordinati in m nel modo espresso dalla figura, formando 8 piani sopra e 5 sotto. Per formare il cerchio di ciascun piano si adoperano de' pezzi simili in maggiore o minor numero; ogni pezzo è lavorato in modo da presentare la curvatura della superficie osculatrice di un paraboloide di rivoluzione, che abbia per fuoco il punto ove trovasi la fiamma, ed una linea orizzontale per asse siccome vedesi nella figura 193. Tutta la luce che cade sugli specchi è dunque orizzontalmente riflessa. Il sistema di rifrazione è composto di 8 lenti anulari a, simili a quelle della figura 195, sostenute da verghette di ferro sul piano z il quale muovesi mercè il meccanismo dinanzi descritto.

La seguente tabella contiene i principali risultamenti relativi ai fuochi de' diversi ordini:

Ordini de' fuochi	Numero di lucignoli	Olio che consumasi in un' ora	Altezza della fiamma	Diametro della fiamma	Distanza da cui si vede la luce
1	4	750 gr.	9 cent.	9 cent.	9 a 13 leghe
2	3	460	8	7	7 a 9 ——
3	2	195	7	4,5	5 a 7 ——
4	1	45	5	2	3 a 5 ——

Si sa che la *portata* de' fari, ossia la distanza da cui la luce si vede da un punto dell' orizzonte del mare, deriva dall' altezza cui tali fari sono situati; imperocchè per un osservatore elevato per due metri, il cerchio dell' orizzonte reale si estende a circa 8000 metri ossia 2 leghe, e la distanza cresce in ragione della radice quadrata delle altezze, in modo che diventa di 20 leghe per l' altezza di 550 metri.

CAPO III.

SCOMPOSIZIONE E RICOMPOSIZIONE DELLA LUCE.

389. *La luce bianca del sole è composta di raggi di varj colori*. — Per rendere aperta questa fondamentale proposizione, si fa nascere lo *spettro solare* nel modo che abbiamo innanzi dichiarato (*fig.* 170) e che trovasi ripetuto (*fig.* 201): m è lo specchio metallico o *porta-luce* adattato all' imposta di una camera oscura; o è il buco fatto nell' imposta nel quale si fa entrare un fascio di luce solare; questo buco ha il diametro di 1 o 2 centimetri; p è il prisma rifrattivo; t il piano sul quale si riceve l' immagine: prima di porre il prisma, l' immagine diretta è rotonda senza colori, e mostrasi in g. Per mezzo del prisma l' immagine rifratta si allunga e divien colorata; essa si mostra in ru, ed è propriamente quello che si chiama spettro solare. La figura mostra il piano di fronte per far meglio vedere lo spettro.

Variando questa esperienza è agevole di fermare i fatti che seguono: 1°. parallelamente agli angoli del prisma lo spettro ha la stessa larghezza che avrebbe l' immagine diretta ricevuta alla stessa distanza; 2°. perpendicolarmente agli angoli la lunghezza dello spettro dipende dall' angolo rifrattivo del prisma e dalla materia ond' esso è formato.

Per rendere aperto il primo fatto basterà ripetere l' esperienza con prismi diversi.

Per assicurarsi del secondo si può fare uso del prisma variabile espresso nella figura 202. Il piede p e le due basi b, b' sono di ottone; nell' atto che le due facce f ed f' sono lamine di vetro incastrate in cornici metalliche; una di esse è fissa; l' altra è mobile, e può essere con la prima parallela o inclinata sotto qualunque angolo. Posto questo strumento in vece del prisma p nell' apparecchio della figura 201, non si ha da prima alcun deviamento del fascio di luce, il che mostra che le due superficie di ciascuna lamina f ed f' sono parallele; ma tosto che vi si versa entro un liquido trasparente, il fascio di luce si vede deviare e mostrasi colorato. Indi facendo variare più o meno la inclinazione della lamina f con l' altra f', si farà nello stesso tempo variare la colorazione ed il deviamento. Per intendere poi che la lunghezza dello spettro

dipende dalla materia del prisma, si possono l'un dopo l'altro versare nel prisma variabile diversi liquidi, serbato lo stesso angolo, ed osservare le corrispondenti lunghezze dello spettro; ma volendo conoscere lo stesso esser vero anche pe' solidi, si fa uso del *prisma moltiplice* (*poliprisma*) dinotato dalla figura 203. Questo strumento è l'unione di molti prismi soprapposti l'uno all'altro con le loro basi, essendo di diversa materia ed avendo tutti lo stesso angolo rifrangente; facendolo passare dinanzi al buco, il fascio dovrà l'una dopo l'altra attraversare le diverse materie onde il prisma moltiplice è composto, sotto la stessa obbliquità, ed in tal modo si avranno spettri di varie lunghezze e disugualmente colorati.

Facendo queste sperienze si conoscerà che se la lunghezza dello spettro non sia per lo meno doppia della larghezza, nel mezzo vi sarà una striscia bianca; ma il bianco sparisce quando lo spettro è molto allungato, la separazione de' colori è intera, e si osservano le sette tinte che seguono: *rosso, arancio, giallo, verde, turchino, indaco, violetto*.

Vuolsi poi avvertire che gli anzidetti colori son sempre nello stesso ordine tra loro, ed il rosso è quello che patisce il minor deviamento per rispetto al prisma. Coteste tinte son quelle che si chiamano i *colori del prisma*, i *colori dello spettro*, i *colori dell'iride* o dell'*arco baleno*, i *colori semplici*, ec.; ma noi vedremo che se i nostri occhi non discernono più di sette colori nello spettro, si può con ragione affermare esservene un infinito numero.

La separazione de' colori è perfetta quando lo spettro vien ricevuto alla distanza di 6 metri dal prisma, avendo questo un angolo di 60° ed il buco essendo un cerchio di 1 centimetro di diametro; sebbene ancor più compiuta riesca se più piccolo sia il diametro del buco. Tutto questo rendesi aperto facendo nello stesso tempo cadere sul prisma per diversi buchi vicini varj fasci di luce, o anche meglio facendo cadere un sol fascio per un foro a triangolo isoscele molto allungato, la cui altezza sia parallela agli spigoli del prisma.

Per far che lo spettro abbia limiti più netti e recisi, si può anche ordinare l'esperienza nel seguente modo, siccome facea Newton: Alla distanza di quattro metri dal buco o (*fig.* 205) si pone una lente di due metri di fuoco sulla quale si fa cadere un fascio di luce solare; allora l'immagine del buco si andrà a dipingere in o' alla stessa distanza di 4 metri, di grandezza giusto quanto il buco; ma immediatamente dietro la lente si pone il prisma *p* che scompone la luce incidente e dà uno spettro lucido e ben terminato, imperocchè in minore spazio comprende più luce che non comprenderebbe se non vi fosse la lente.

390. *I raggi di diversi colori sono diversamente rifrangibili.*—Questa verità rendesi aperta ponendo mente alla forma allungata dello spettro; imperciocchè è chiaro che la luce di color violetto che cade in *u* (*fig.* 201) forma uscendo dal prisma un angolo di emergenza maggiore della luce rossa che cade in *r*; e siccome sulla prima faccia del prisma l'incidenza è la stessa, così è forza conchiudere il violetto essere più del rosso rifrangibile. Con simile ragionamento ci persuaderemo che le tinte intermedie hanno anche intermedie rifrangibilità.

Ma ecco delle sperienze le quali alla stessa conseguenza anche meglio ci conducono.

1° Si riceva lo spettro sopra un piano *a* (*fig.* 204) che abbia un foro *o'*; dietro di questo si fermi in una data giacitura un secondo prisma che dia alla luce un'altra rifrazione, e si segni sul piano *t* il punto in cui cade l'immagine. Or facendo girare il primo prisma si possono l'una dopo l'altra far passare tutte le tinte per lo foro *o'* del primo piano, ed in tal modo si conoscerà che il violetto che cade in *u'* dopo la seconda rifrazione è più rifrangibile del rosso che cade in *r'*.

2° Lo stesso risultamento si ha dall'esperienza dei prismi incrociati, la quale è anche più semplice e più facile. Si nota sul piano il luogo *o* dell'immagine solare generata dal fascio diretto (*fig.* 206); dietro l'apertura dell'imposta si pone un prisma *orizzontale* che produce sul piano lo spettro *ru*; dietro di questo prisma finalmente se ne pone un altro *verticale*, e si avrà uno spettro *r'u'*. Mercè questo secondo prisma la luce rossa che prima cadeva in *r* sarà rifratta in *r'*, e la luce violetta che prima cadeva in *u* andrà in *u'*: l'obbliquità dello spettro *r'u'* chiaramente dimostra che la rifrangibilità cresce dal rosso fino al violetto, imperocchè tutt'i colori avendo la stessa incidenza entrando nel secondo prisma, hanno nell'uscire angoli di emergenza crescenti dal rosso sino al violetto.

3° Si fanno le diverse tinte dello spettro cadere successivamente sopra una carta stampata a piccolissime lettere, e posta innanzi a questa una lente che abbia molta distanza focale, si riceve ad una giusta distanza sopra un cartone bianco l'immagine delle lettere in modo che sia il meglio possibile terminata; si conoscerà in tal guisa che per la luce rossa il carto-

ne dovrà stare più lontano dalla lente che per l'arancio, e per questo più che per lo giallo, ec.

Le antecedenti sperienze non solo si avverano pel sette colori che abbiamo distinti nello spettro, ma benanche pei diversi raggi di un medesimo colore. Il rosso *r*. per esempio, che trovasi a' confini dello spettro (*fig.* 205), e che per questo *rosso estremo* si chiama, è meno rifrangibile del *rosso medio*, e però molto meno del *rosso contiguo dell' arancio*. Dicasi lo stesso di tutt' i raggi dello spettro dal rosso estremo fino all' estremo violetto. Per ragion di questa rifrangibilità crescente per gradi noi siamo indotti ad ammettere nella luce bianca una infinita varietà di colori, e secondo questo principio l' analisi dello spettro si può fare nel modo seguente:

Figuriamoci per un momento che nella luce bianca non vi fosse altro che il rosso estremo ed il violetto estremo; allora è chiaro che in vece di uno spettro noi avremmo due immagini rotonde del sole, una rossa in *r* e l' altra violetta in *u* (*fig.* 207): ma il rosso vicino al rosso estremo e che di questo è più rifrangibile, dà del pari un' immagine rotonda, la quale è in gran parte soprapposta alla prima avvicinandosi verso il violetto: il rosso che segue dà anch' esso una simile immagine che si soprappone all' antecedente, e così continuando fino al violetto estremo. Laonde nelle sperienze ordinarie lo spettro è composto di un infinito numero d' immagini circolari distese le une sulle altre, ed a tutto rigore una piccola zona qualunque, facente parte di molti cerchi vicini dovrà esser composta di molte luci diverse per colore e rifrangibilità: se non che, se i cerchi hanno diametri picciolissimi, i colori saranno presso a poco gli stessi, e quasi eguali saranno anche le rifrangibilità; è però che questa zona può esser considerata come composta d' una stessa luce.

391. *Ogni colore dello spettro è semplice.*— Semplice si dice un colore che si tien sempre lo stesso, senza che per una cagione qualunque passano dal medesimo uscirne delle tinte diverse; e noi dimostreremo potersi i colori dello spettro distruggere, ma non potere per gli occhi nostri essere in veruna guisa modificati.

1° Dopo di aver separato dallo spettro un sol pennello, per esempio il violetto, facendolo passare per apposito forame fatto in un piano, si potrà fargli attraversare prismi e lenti di ogni maniera senza che vi si possano scoprire altre tinte oltre il violetto primitivo (*fig.* 204).

2° Se questo pennello violetto si faccia cadere sopra corpi di altro colore, rosso, giallo, verde, ec., questi diventeranno violetti senza che si possa ravvisarvi più il primiero colore che essi naturalmente presentano e che sembra ad essi aderente e proprio. L'esperienza si può fare sulle foglie delle piante, sopra i fiori, sul vermiglione (1), sull'oro ec.; tutti cotesti corpi prendono allora la stessa tinta di violetto, quasi questo fosse il loro naturale colore. In simil guisa tutt' i corpi appariranno rossi nel rosso, gialli nel giallo, verdi nel verde, ec.

3° Un pennello violetto che s'imbatte in un corpo diafano rosso, giallo o verde, rimane assorbito e distrutto, o se passa è nell' uscire ancor violetto come prima. Questa sperienza è assai spiccata particolarmente ne' vetri di color rosso: taluni di essi dan libero passaggio alla luce violetta; altri interamente l' assorbono, quantunque guardati alla luce del giorno sembrino tutti egualmente colorati e trasparenti: quello che assorbe il violetto, assorbe in generale tutt' i colori dello spettro fuorchè il rosso, e però esso è un *corpo trasparente pel rosso e più o meno opaco per gli altri colori*.

Si suole generalmente dire con Newton che la luce semplice sia omogenea; ma questa maniera di esprimersi non è giusta: con essa par che si voglia intendere che tutte le parti di questa luce ricevano gli stessi cambiamenti, nell'atto che agevole riesce di vedere che un raggio di luce semplice è in parte riflesso alla superficie di un corpo diafano ed in parte rifratto entro di esso; onde queste due parti non sono perfettamente le stesse, perocchè ricevono modificazioni diverse. Dicasi lo stesso quando un pennello di luce semplice cade in un corpo capace di doppia rifrazione, dividendosi allora questo pennello in due che vanno per diverse direzioni. Generalmente può dirsi, non accader quasi mai che un pennello semplice dello spettro riceva perfettamente le stesso modificazioni in tutte le sue parti.

392. *Si può riavere la luce bianca riducendo tutti i colori semplici nella stessa direzione o facendoli tutti riunire in un sol punto.* Quando i colori sono stati separati da un prisma, si possono ridurre nella stessa direzione mercè un altro prisma dello stesso angolo rifrangente del primo, ma rivolto al contrario (*fig.* 208). In questo caso il fascio che dentro i due prismi è colorato si fa bianco

(1) La voce *vermillon* del testo significa tanto il minerale detto vermiglione quanto il minio; ma sia che voglia dir l' uno o l' altro, l' esperienza dà sempre lo stesso risultamento.

nell'uscire dal secondo, e va a pingere sul piano corrispondente la immagine del sole rotonda. Se il secondo prisma abbia larghe facce, si potrà mettere molto lungi dal primo in guisa che riceva uno spettro perfettamente compiuto. Cotesta esperienza è assai acconcia a rendere aperto che nel prisma non si trova alcuna particolar forza atta a decomporre o ricomporre la luce bianca, ma che la separazione o la riunione de' colori semplici accade da se, per la diversa rifrangibilità dei varj raggi. Per opporre due prismi che abbiano perfettamente lo stesso angolo, si può anche adoperare un vase rettangolare di cristallo partito in due prismi da un compartimento anche di cristallo cc' (*fig.* 209) Quando ponsi dell' acqua nel primo prisma, il fascio emergente genera lo spettro; ma col riempire d' acqua anche la seconda capacità prismatica, il fascio riprenderà la primiera direzione e sarà bianco come prima.

Non è punto necessario perchè rinasca il bianco che tutt' i colori semplici sian ridotti nella stessa direzione, siccome di sopra è detto; ma basta che si mescano nello stesso punto, siccome dalle seguenti esperienze verrà dichiarato.

1° Lo spettro si faccia cadere sopra un grande specchio concavo m (*fig.* 210), ed il fascio riflesso si diriga o nello stesso fascio incidente o fuori del medesimo, appunto come è dinotato nella figura. Allora tutte le tinte dello spettro riflesse per varie direzioni andrannosi ad incontrare nello stesso punto f, ed ivi l'immagine del sole ricevuta sopra un piano opaco o sopra una lastra di vetro smerigliato apparirà di un'abbagliante bianchezza, come se di luce bianca fosse il raggio incidente. Per avere dunque la luce bianca è sufficiente la riunione di tutti i colori semplici. Ma se i fasci riflessi non sian ricevuti precisamente nel fuoco dove la riunione è più perfetta, ma si ricevano prima o dopo, si osserverà una imperfetta ricomposizione, prima i colori si vedranno secondo il loro ordine, e dopo in ordine inverso. Se da ultimo nel fuoco si ponga un piccolo levigatissimo specchio m', non si dovrà punto dubitare che la luce che cade sul medesimo non sia bianca come quella che testè cadeva sul piano, e pure la luce riflessa da questo specchio sarà uno spettro; il che dimostra a chiare note, che i diversi raggi unendosi nel fuoco, mantengonsi indipendenti e in verun modo scambievolmente si modificano.

2° Si riceva lo spettro sopra una lente l (*fig.* 211), e nel punto f ove tutti i raggi convergono si avrà la luce bianca del pari che nel fuoco dello specchio di cui di sopra è detto. La immagine rotonda che ne risulta è soltanto colorata verso gli orli, perocchè i raggi diversamente rifrangibili non possono avere dietro la lente lo stesso fuoco. Lo spettro apparisce di nuovo al di là del fuoco in $r'u'$, ma rovesciato, il che parimente dimostra che i raggi col riunirsi non si modificano scambievolmente, e che ciascuno si comporta come se fosse solo.

3° V'ha finalmente un modo meccanico di ricomporre la luce bianca, il cui effetto sembra molto maraviglioso. Figuriamoci un cerchio di cartone di un piede di diametro all'incirca che abbia un piccol buco nel centro e due zone nere una verso il centro ed un' altra presso alla circonferenza. Tra queste due zone s'incollano dei ritagli di carta; il primo tinto in rosso che somigli per quanto è possibile quello dello spettro, il secondo di colore arancio, il terzo di giallo, ec.; quando la serie di colori è compiuta, s' incomincia da capo ripetendola tante volte da occupare una intera circonferenza, facendo che le serie sieno tutte per intero e ciascun colorevi occupi uno spazio presso a poco proporzionale a quello dello spettro. Se questo cartone si faccia rapidamente rotare intorno al suo centro o con la mano intorno di un'asta o in qualsivoglia altro modo, tutte le tinte spariranno, e la zona che resta tra le altre due sopraddette zone nere apparirà più o meno perfettamente bianca. Di questo singolare fenomeno si può render ragione nella maniera che segue: se sopra un fondo nero si trovasse un sol ritaglio rosso, si vedrebbe mercè la rotazione un cerchio rosso, siccome accade nella comunale sperienza del carbone acceso messo in giro con velocità grandissima; in simil guisa con un ritaglio violetto si avrebbe un cerchio violetto; un cerchio verde con un ritaglio verde; ec. Or se cotesti ritagli si trovan tutti ordinati e girino intorno nello stesso tempo con molta rapidità, si dovrà simultaneamente nello stesso luogo vedere un cerchio rosso, un altro aranciato, un altro giallo, ec., e però un cerchio bianco, perocchè la sensazione del bianco altro non è che la sensazione simultanea di tutte queste tinte.

393. *De'colori complementari e delle tinte generate dal mescuglio di varj colori semplici in diverse proporzioni.* — Poichè unendo insieme tutt'i colori semplici nella loro *naturale proporzione* (quella cioè data dallo spettro) riproducesi la luce bianca, egli è chiaro che per alterare la bianchezza basterà togliere uno de'colori semplici o variarne la proporzione. Laonde sopprimendo il rosso e riunendo gli

altri colori dello spettro; si ha una tinta turchiniccia, e questa unita al rosso fa rinascere il bianco. Sempre che due colori semplici o composti soddisfano a questa condizione, ossia sempre che uniti insieme danno il bianco, questi colori si dicono l'uno dell'altro *complementario*. Non v'ha colore che non abbia il suo complementario, imperciocchè se non è bianco gli manca qualcheduno degli elementi della luce bianca, e questi elementi mescolati insieme ne formano appunto il colore complementario. Ma se al mescuglio si unisca il bianco in diverse proporzioni, si avranno tante tinte diverse tutte egualmente atte a riprodurre il bianco unendole al colore dato. V'ha dunque propriamente parlando una infinità di tinte diverse che hanno lo stesso colore complementario, ed una infinità di tinte complementarie dello stesso colore. Il verde per lo più ha per colore complementario il violetto più o meno rossiccio, ed il giallo l'indaco più o meno violaceo. Per conoscere mercè l'esperienza le tinte che si hanno dal mescuglio di più colori semplici, si può fare uso di uno strumento composto di sette specchi: questo si pone molto lungi dal prisma affinchè lo spettro sia bene allargato, indi s'inclinano proporzionatamente gli specchi per dirigere sopra un bianchissimo foglio di carta quelle tinte la cui composizione si vuole osservare. Newton par che abbia fatto molte sperienze sul proposito tanto con questo che con altri metodi simili, ed è giunto ad una notevolissima descrizione geometrica la quale con maravigliosa precisione esprime i risultamenti di tutte le sperienze. Noi possiamo solo far conoscere questa descrizione additandone l'uso; imperocchè quel valentuomo dopo di averla verificata con l'esperienza, non l' ha giustificata col raziocinio in alcuna delle sue opere, nè si è potuto finora indovinare la segreta connessione che essa sicuramente aver deve con la teoria.

La circonferenza del cerchio *rojcbiu* (*fig.* 212) si divida in sette parti le cui grandezze sieno come segue:

$ro = 60°$	45′	34″
$oj = 34$	10	38
$jc = 54$	41	1
$cb = 60$	45	34
$bi = 54$	41	1
$iu = 34$	10	38
$ur = 60$	45	34

Supponendo che questi sette archi rappresentino i sette colori semplici, cioè *ro* il rosso, *oj* l'arancio, ec., i loro centri di gravità r', o', j', c', b', i', u', del pari che il centro di gravità c dell'intera circonferenza, sono le forze che è mestieri comporre per avere la tinta che risulta dall'unione di più colori.

E prima di tutto supponendo che si voglia sapere il colore che si ha dal mescuglio di tutte le tinte, bisogna comporre i sette centri di gravità de' sette archi come si comporrebbero sette forze parallele; la lor risultante passando, come è chiaro, per lo centro, fa vedere che il colore del mescuglio è il perfetto bianco.

Volendo, per esempio, comporre il rosso con una certa proporzione di bianco, si dovrà assegnare al centro di gravità c un valore corrispondente alla proporzione di bianco che si vuol mescolare: questo valore sarà eguale alla somma de' valori de' centri di gravità r', o', j', ec. se la proporzione di bianco è quella che risulta dal mescuglio di tutte le tinte; ne sarà la metà se si voglia prendere la metà del bianco; ec. indi questo centro di gravità si comporrà con r' e la risultante cadendo sulla linea $r'c$ dimostra che la tinta del mescuglio sarà rossastra in cui dominerà il bianco in ragion che la risultante passi più vicina al centro. Si opererebbe in un modo simile nel caso che si volesse unire il bianco a qualunque altro de' colori semplici.

Seguendo questa regola è agevole il rendere aperto:

1°. Che due colori semplici consecutivi danno col loro mescuglio una tinta intermedia. Il rosso e l'arancio danno una tinta che più si approssima a quest'ultimo, ec. Newton intanto ci raccomanda di non applicare questa regola al rosso ed al violetto che non si seguono nello spettro.

2°. Che due colori separati da un altro, mescolati insieme riproducono appunto quello che li separa. Così

Il rosso ed il giallo danno	l' arancio
L' arancio ed il verde	il giallo
Il giallo ed il turchino	il verde
Il verde e l' indaco	il turchino
Il turchino ed il violetto	l' indaco.

Ma l' indaco ed il rosso danno una maniera di porporino che differisce sensibilmente dal violetto.

3°. Che due colori tramezzati da due altri danno anche mescolandosi uno de' colori che li separano, ma come se fosse più o meno unito al bianco.

Si può applicare il calcolo a questa regola empirica, e trovare la tinta che deriva dal me-

scuglio di qualunque numero di colori semplici presi in qualsivoglia proporzione.

394. *Tutta la luce composta soffre nel rifrangersi una separazione ed una ricomposizione.* — Seguiamo ora il cammino di un pennello di luce bianca che attraversi obbliquamente una lamina a facce parallele. Sia *a* (*fig.* 213) la faccia superiore di questa lamina, *b* la sua faccia inferiore, ed *li* la direzione di un pennello incidente che supponiamo venir dall'infinito. Il raggio *li* sarà decomposto per la rifrazione in una infinita di raggi variamente colorati, dal rosso estremo che prenderà la direzione *ir* infino all' estremo violetto che prenderà l'altra *iu*, e la legge di Cartesio applicandosi al primo del pari che all' ultimo, ciascuno di essi genera un fascio emergente parallelo ad *li*, donde nasce un raggio parallelo i cui raggi da *re* fino ad *ue* presentano tutte le tinte dello spettro. Cotesto risultamento sembra da prima opposto all' esperienza, imperocchè è risaputo che la luce bianca non è decomposta nell' attraversare le lamine parallele, sia qual si voglia la natura di queste; ma basterà di por mente all' unione dei raggi vicini al raggio *li* per veder dileguata l' apparente contraddizione. E per fermo *l'i'*, per esempio, dà come *li* nell' interno della lamina un pennello dilatato che presenta tutte le tinte dello spettro, ed all' esterno un pennello parallelo *r'e'*, *u'e'*, del tutto simile ad *re*, *ue*; ancora, ciascuno de' raggi del secondo è parallelo al suo omologo nel primo. Dicasi lo stesso di tutt' i raggi compresi tra *li* ed *l'i'*, e con ciò precisamente si rende ragione della bianchezza del fascio emergente: imperocchè presso del raggio *li* v' ha un raggio incidente che dà un raggio aranciato secondo *re*, poco appresso ve n' ha un altro che da un raggio giallo secondo la stessa linea, indi un altro che ne dà un verde, poi un altro che ne dà un turchino, ec. Donde segue finalmente che tutti i raggi emergenti son de' raggi bianchi, tranne quelli che trovansi agli orli del pennello in *re* ed *u'e'*; ma questi sono generalmente modificati per la diffrazione, nè è possibile ravvisarvi le tinte generate dalla semplice decomposizione.

Si conosce che la decomposizione avviene anche dentro la lamina, e se l' occhio si trovasse posto entro la massa della medesima ricevendo per una direzione i raggi rossi e per un' altra i violetti, vedrebbe il rosso ed il violetto in due punti diversi, tra i quali osserverebbe le tinte intermedie, vedrebbe cioè uno spettro in vece di un' immagine bianca. I corpi intanto illuminati da questi diversi raggi si troverebbero come se fossero colpiti da luce bianca, perocchè i raggi che vanno in un punto di un corpo opaco seguendo direzioni poco diverse, si comportano negli effetti come se vi giungessero per la stessa direzione.

L' antecedente disamina ci fa intendere che le rifrazioni, le separazioni e le riunioni dei raggi della luce si compiono alla superficie dei corpi rifrattivi. Potremmo qui riportare molti esempj di cotesti fenomeni, ma diremo solo di due esperienze per le quali in modo assai piacevole rendesi aperto l' andamento di queste successive separazioni e riunioni.

1° Quando un piccolo pennello di luce solare si fa cadere sopra un prisma equilatero *abc* (*fig.* 214), per una conveniente direzione *li*, e verso la terza parte del suo lato, si osservano sei immagini intorno al prisma; ogni faccia ne dà due immagini, una bianca e l' altra colorata che forma uno spettro compiuto. Seguendo sulla figura il cammino della luce, si potrà agevolmente di questo fenomeno render ragione.

2° Nel fuoco di una lente si generi un' immagine del sole mercè un ampio fascio di luce diretta (*fig* 215); prendasi poi un cartone bianco e si presenti prima nel fuoco, indi successivamente più vicino alla lente e più lontano dalla medesima: nel fuoco ossia in *c*, l' immagine sarà perfettamente bianca; più vicino alla lente, in *c'*, essa apparirà bianca nel mezzo e circondata agli orli di rosso e giallo; più lungi dalla lente, in *c''*, sarà tuttavia bianca nel mezzo e contornata di turchino e violetto.

Di questo primo fatto si dà facilmente ragione; ogni raggio incidente è dalla lente decomposto siccome lo sarebbe dal prisma, e però nascer deve un infinito numero di spettri anulari or più or meno compiutamente soprapposti l' uno all' altro. Il rosso, come quello che meno si rifrange, ha il fuoco più lontano in *r*, nell' atto che il violetto lo ha in *u*: per la qual cosa quando il piano è in *c'*, si ha un' immagine bianca *hh'* circondata di un' aureola, *gh*, *g'h'* in cui il rosso trovasi al di fuori, quando poi il piano è in *c''* si ha una immagine bianca *nn'* con un' aureola violetta *vn*, *n'v'*; si ha finalmente un' immagine *bb'* perfettamente bianca quando il piano si pone in *c*, imperocchè i raggi violetti che sono incontrati in *u* vanno a cadere nello stesso punto co' raggi rossi che si uniscono in *r*. Ma il rinomato professore Charles solea nelle sue lezioni rendere l' esperienza più spiccata nel modo che segue: in un foglio di carta (*fig.* 216) si tagli un piccolo anello entro del quale si lasci un cerchio pieno, di diametro alquanto maggiore

di *bb'* (*fig.* 215); questa carta posta in *bb'* arresta tutta la luce e nessuna immagine cade sul piano messo a qualunque distanza, indi si muova gradatamente la carta avvicinandola alla lente o scostandola dalla medesima, tenendola sempre in modo che il centro dell'anello tagliato corrisponda con l'asse del fascio: per tal modo nel primo caso si vedrà comparire sul quadro una larga aureola di vivissima luce rossa, indi un'altra di luce gialliccia, e finalmente un'altra bianca; nel secondo caso poi le successive aureole sono violette, turchine o bianche, ma sempre assai spiccate.

395. *I naturali colori de' corpi sono generalmente colori composti.* — Il prisma adoperato per la decomposizione della luce solare può con lo stesso successo servire per analizzare i diversi colori de' corpi. Svariatissimi sono i fenomeni che si generano; ma noi ci starem contenti d'indicare le condizioni con le quali avvengono, ed il principio pel quale si rende ragione de' medesimi.

1° Nel mezzo di un foglio di carta nera si pongano l'uno dopo l'altro due piccoli ritagli di carta *r* ed *u*, uno rosso e l'altro violetto di 1 o 2 centimetri di lunghezza e di 1 millimetro di larghezza (*fig.* 217); si guardino poscia attraverso di un prisma da qualche piede di distanza, tenendo gli spigoli del prisma paralleli alla lunghezza de' ritagli. Allora si vedrà un' immagine deviata di ciascun ritaglio, l'immagine violetta *u* si vedrà trasportata di più della rossa verso il vertice del prisma. Per la qual cosa, il violetto essendo più rifrangibile del rosso, i due ritagli veggonsi separati dal prisma, nell'atto che veggonsi uniti e sulla stessa linea quando si guardano direttamente.

2° Se invece di tingere rosso uno degli anzidetti ritagli e l'altro violetto, si mescolino da prima i due colori insieme e poi col loro composto (che è un color quasi di porpora) si tinga un sol ritaglio *p*, allora questo sarà veduto doppio attraverso del prisma, e si vedrà un' immagine rossa *r* ed un' altra violetta *u*. Laonde il potere rifrattivo del prisma separa i due colori elementari che compongono il color di porpora, deviando ciascuno secondo le proprie leggi, come se provenissero da un corpo luminoso.

3° I corpi che naturalmente sono bianchi dovendo ricevere la loro bianchezza dalla luce che gl' illumina, si può anticipatamente intendere che il loro colore sia atto ad offrire tutte le tinte dello spettro, siccome il color purpureo, del quale di sopra è detto, facea ricomparire le tinte elementari ond' esso era composto.

E per fermo, se un piccolo ritaglio *b* di carta bianca (*fig.* 217), si guardi attraverso del prisma, la sua immagine *ru* non si vede affatto bianca, ma se non è molto larga, avrà chiaramente espresso il rosso, l'arancio, il giallo, il verde, il turchino, l'indaco ed il violetto, nell'ordine medesimo e con le stesse proporzioni della luce solare.

4° Un largo ritaglio di carta *b'* (*fig.* 217) diversi fenomeni presenta: verso il mezzo dell'immagine i colori si trovano soprapposti e riproducono il bianco, ma verso gli orli la ricomposizione è in pari tempo incompiuta, e da una parte si osservano delle strisce violette, indaco, turchine, e dall'altra rosse, aranciate, gialle.

5° Un largo ritaglio nero *n* (*fig.* 217) posto sopra un fondo bianco guardato attraverso del prisma genera fenomeni perfettamente opposti agli antecedenti: l'immagine vedesi nera nel mezzo, e partendo da questa linea si trovano successivamente il rosso, l'arancio, il giallo, il verde dalla parte di sopra, ed il violetto, l'indaco, il turchino dalla parte di sotto. Per intendere la ragione di cotesta inversione basterà por mente che i colori derivano dallo spazio bianco circostante al ritaglio nero *n*; quelli di sopra provengono dal fondo bianco che sta immediatamente in alto appresso ad *n*, e quei di sotto finalmente dal fondo bianco che sta in basso.

6° Un ritaglio nero molto stretto (*fig.* 217) non si vede nero verso il mezzo; la sua immagine è composta solo di zone rosse e violette, oltre le quali trovasi da parte l'arancio ed il giallo, e dall'altra l'indaco ed il turchino. Ciò accade come se il nero di mezzo dell'antecedente sperienza scemasse a poco a poco fino a dileguarsi.

7° Tutti i colori naturali possono essere in simil guisa analizzati; ci ha non per tanto due cagioni le quali fanno che l'analisi non riesca perfettamente giusta: il fondo sul quale si dispongono non è mai perfettamente nero, anche quando sia una superficie con ogni cura annerita col nero fumo, e gli obbietti colorati come foglie, fiori, piume, squame, pietre preziose ec. hanno quasi tutte la proprietà di riflettere alla loro prima superficie una porzione della luce incidente senza darle alcuna colorazione. Cotesta luce bianca più o meno intensa riflessa dal fondo e dall'obbietto stesso da nell'attraversare il prisma delle tinte straniere le quali si mescolano alle tinte proprie del corpo assoggettato all'esperienza.

8° I vetri colorati e generalmente i corpi traslucidi si saggiano in altro modo: col pris-

ma si guarda la luce solare che gli attraversa: se questa luce è anche composta il prisma ne separa le tinte; se è semplice, il prisma non ne modifica nè la forma nè il colore. Solo certi antichi vetri rossi danno una luce semplice.

La luce che noi possiamo artificialmente produrre tanto per combustione, quanto in generale per le forze fisiche, chimiche o meccaniche, può nello stesso modo essere analizzata, e tutte le sperienze che sonosi fatte finora ci guidano alle due seguenti conclusioni:

1° La luce artificiale, da qualsvoglia origine provenga, non contiene alcuna tinta semplice che non si trovi nella luce solare.

2° Non si dà luce artificiale la quale si risolva ne'colori semplici della luce solare egualmente intensi e nelle stesse rispettive proporzioni. La tinta dominante in ogni luce è pur la tinta dominante dello spettro quando questo si guarda col prisma. E però le fiamme rosse, gialle, verdi, turchine, generano spettri nei quali predomina il rosso, il giallo, il verde, il turchino. Quando per altro si fa ardere l'alcool allungato con acqua ben satura di sale mercè un lucignolo di spugna si ha una fiamma di color quasi semplice: in questo modo Brewster fa la sua *lampada monocromatica* che può essere utile nelle osservazioni microscopiche, e per fare varie sperienze di polarizzazione o di diffrazione.

CAPO IV.

DELLE RIGHE DELLO SPETTRO; DELLA DISPERSIONE E DELL' ACROMATISMO.

396. *Delle righe dello spettro.*—Diremo righe dello spettro i pronti cambiamenti che Frauenhofer ha scoperti nella luce dello spettro. Questi cambiamenti appariscono alle volte come linee nere o quasi interamente nere, ed alle volte come linee più brillanti.

La figura 219 rappresenta questo singolare fenomeno per la luce solare: *ru* è lo spettro ordinario dove son segnati gli spazi occupati da varj colori, e *r'u'* rende aperte le principali righe che vi si osservano; esse son sempre nere, ed immaginando che questa figura sia adagiata sulla prima, si avrà un'idea della giacitura di queste diverse righe per rispetto ai colori dello spettro. Si vede prima di tutto che esse non trovansi ai limiti de'colori, ma dal rosso fino al violetto sono sparse con grande irregolarità, senza presentare alcuna particolarità passando dal rosso all' arancio, da questo al giallo. Si può inoltre osservare come la loro apparenza non sia meno irregolare della loro giacitura: alcune sono esilissime, e come linee nere isolate appena visibili; sono alcune altre molto vicine, e sembrano piuttosto un'ombra che un'unione di linee distinte; ve n'ha finalmente di quelle molto recise e spiccate che sembrano avere una sufficiente larghezza. Il Frauenhofer per porre un certo ordine a tanta confusione, ha scelto le sette righe *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, come quelle che son più facili a ravvisare, e dividono lo spettro in parti non molto tra loro disuguali. Da *b* a *c* si contano 9 righe fine e ben determinate; da *c* a *d* se ne contano 30; da *d* ad *e* circa 84 di varie grandezze; da *e* ad *f* meglio di 76, tra le quali ve ne sono tre le più forti dello spettro e più determinate; da *f* a *g* ve ne sono 185; 190 da *g* ad *h*: vale a dire 574 da *b* ad *h*. Se si tien conto anche di quelle che escono da questi limiti, si può stimare per 600 in 700 l'intero numero delle righe nere più o meno oscure che lo spettro solare per la intera sua lunghezza presenta.

Si può osservare questo fenomeno, sia projettando lo spettro intero sopra un piano, sia ricevendo successivamente i diversi colori dello spettro in una lente convenientemente disposta, e che dia un sufficiente ingrandimento. In ambi i casi, la luce non deve giugnere al prisma se non dopo avere attraversato una fenditura parallela dai suoi lati, e strettissima nel senso perpendicolare; se allora voglionsi projettare le frange sopra un piano, disponesi l'esperienza come quella delle fig. 205: *o* rappresenta la fenditura, *p* il prisma ed *l* la lente; questa figura si riferisce all'esperienza di Newton, ove la lente era sferica, e le sue distanze all'apertura *o* e al piano *ur* eran doppie della distanza focale principale. Nel caso attuale, potrebbesi prendere una lente cilindrica, ma sia tale o pure sferica, giova principalmente che essa produca un ingrandimento più o meno considerevole; a conseguir la qual cosa convien che la lente sia più prossima alla fenditura che al piano, in modo che queste distanze corrispondano a distanze focali coniugate: un ingrandimento di 8 in 10 volte ci pone nel caso di vedere in modo assai distinto tutte le righe principali dello spettro; tuttavolta però pare che sievi del vantaggio nel situare le lenti dopo piuttosto che innanzi del prisma.

Per osservare le righe in una lente, si dispone l'esperienza come nella fig. 218: *o* è la fenditura stretta, *p* il prisma ed *l* la lente; in queste esperienze soprattutto richiedesi che il prisma sia purissimo, senza strie nè filamenti, giova situarlo a 6 o 7 metri di distanza

dalla lente: e sia che facciasi girare il suo sostegno, sia che facciasi girare la stessa lente mobile, si giunge sempre a studiare lo spettro in tutta la sua lunghezza, la lente fissa serve a determinare le deviazioni e per conseguenza l' indice di rifrazione corrispondente alle righe principali.

Con tali osservazioni il Frauenhofer ha renduto aperto: 1° che le righe non hanno alcuna attinenza coll' angolo rifrattivo del prisma, e 2° che non ne hanno neppure con la natura della sostanza rifrattiva, cioè che in tutti i casi esse tengonsi le stesse per numero per forma e giacitura.

Erasi finora trovata una perfetta medesimezza tra la luce solare ed ogni altra luce naturale o artificiale, per il che era necessario il vedere se tal medesimezza reggesse anche nella novella prova delle righe. E con tale intendimento Frauenhofer ha fatto con lo stesso apparecchio molte sperienze sulla scintilla elettrica, sulla fiamma di una lucerna, sulla luce di Venere e su quella di Sirio.

La luce elettrica, invece di righe nere, genera righe brillanti; e la più notevole, perchè più intensa, trovasi nel verde.

La luce di fiamma comune genera del pari righe lucide, e se ne distinguono particolarmente tre più intense verso il rosso e l' arancio. Simili a quelle della fiamma d' olio sono sotto questo riguardo gli effetti della fiamma d' idrogeno e di alcool.

La luce di Venere genera le stesse righe della luce solare, con la sola differenza che seno meno facili ad esser ravvisate verso gli estremi dello spettro.

La luce di Sirio finalmente genera del pari delle righe nere, ma del tutto diverse da quelle del sole o de' pianeti. Tre principalmente sono assai notevoli: una nel verde e due nel turchino.

Altre stelle di prima grandezza par che diano righe diverse da quelle di Sirio e del sole.

Laonde per tal modo e mercè di giuste sperienze si conoscono delle proprietà distintive tra le diverse luci naturali o artificiali; è questa una larga via aperta dall' abile artista di Monaco di cui deploriamo la perdita. Giova sperare che i fisici seguiranno con zelo queste prime scoperte, che hanno un' attinenza così grande con l'origine della luce e con le condizioni sotto le quali essa si genera, tanto artificialmente ne' corpi terrestri, quanto naturalmente nel sole e nelle stelle.

Parecchi fisici hanno già sotto questo aspetto studiato le fiamme diversamente colorate: è risaputo che certi sali hanno la virtù di dare de' colori più o meno vivi alla fiamma d' idrogeno, di olio o di alcool.

I sali di calce danno un rosso color di mattoni; que' di strontiana un cremisi; que' di soda un giallo vivo molto puro; que' di barite un verde di pomi; que' di rame un bel verde o un turchino verdastro, que' di potassa un turchino violetto pallido.

Si osserva da prima la fiamma nel suo stato naturale, essa generalmente dà uno spettro discontinuo, in cui i colori dominanti sono il giallo, il verde di varie tinte e molto violetto, le righe sono qui in numero grandissimo. Quando la fiamma si colora mercè un sale, lo spettro prende un aspetto diverso non solo ne' colori ma eziandio per le righe; la calce per esempio dà una riga gialla ed una verde molto distinte, nell' atto che la strontiana dà una riga turchina brillantissima.

Importanti sono pure le osservazioni fatte la prima volta da Brewster e poi da Miller e Daniell sulla proprietà che hanno certi vapori (gas nitroso, iodo, cloro, bromo di far nascere una quantità di righe distinte nello spettro di una fiamma, quando la luce attraversa questi vapori prima di cadere sul prisma che deve scomporla.

397. *Degl' indici di rifrazione dei diversi raggi dello spettro.* — La ricerca degl' indici di rifrazione dei diversi raggi di luce è un problema di somma importanza per la teoria dell'ottica e per la fabbrica degli strumenti. La invariabilità delle righe dello spettro porge per la soluzione del medesimo un mezzo assai più acconcio di quelli che si poteano adoperare, quando non si avevano altri punti di riscontro oltre le tinte de' colori che sono sempre incerte. Per la qual cosa invece di determinare, per ciascuna sostanza, l' indice di rifrazione del rosso, dell'arancio, ec. si cercano da prima gl'indici di rifrazione delle righe che innanzi abbiamo nominate *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h* (*fig.* 219). Le sperienze riduconsi sempre ad osservare l' angolo d' incidenza sul prisma, l' angolo di emergenza, ed il deviamento mercè il teodolita (*fig.* 218); ma questa ricerca si può anche rendere più semplice ponendo il prisma nel modo indicato, in guisa che per ciascun raggio dia successivamente il deviamento *minimo;* allora non si ha bisogno di sapere altro all' infuori di cotesto deviamento. Il cannocchiale che riceve lo spettro nell' uscire dal prisma è fornito di un filo micrometrico parallelo alle righe, in grazia del quale si può con tutta la precisione soddisfare alla condizione del *minimo*.

Ecco la tavola di alcune giustissime spe-

rienze fatte da Frauenhofer. Abbiamo espresso con n_1, n_2, n_3 ... n_7, gl'indici di rifrazione corrispondenti alle righe *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*.

Tavola degl' indici dei diversi raggi dello spettro.

SOSTANZE RIFRATTIVE	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7
Flint-glass n. 13	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648260	1,660285	1,671062
Crown-glass	1,525832	1,526849	1,529587	1,533005	1,536032	1,541657	1,546566
Acqua	1,330935	1,331712	1,333577	1,335851	1,337818	1,341293	1,344177
Acqua	1,330977	1,331709	1,333577	1,335849	1,337788	1,341261	1,344162
Potassa	1,399629	1,400515	1,402805	1,405632	1,408082	1,412579	1,416368
Olio di terebentina	1,470496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Flint glass n. 3	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373
Flint glass n. 30	1,623570	1,625477	1,630585	1 637356	1,643466	1,655406	1,666072
Crown glass n. 13	1,524312	1,525299	1,527982	1,531372	1,534337	1,579908	1,544684
Crown glass Lit M.	1 554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,583535	1,579470
Flint glass n. 23 e prisma di 60.	1,626596	1,628469	1,633667	1,640495	1,646756	1,658848	1,669686
Flint glass n. 23 e prisma di 45°.	1,626564	1,628431	1,633666	1,640544	1,646780	1,658849	1,669680

398. ***Della dispersione, della ragione di dispersione tra parecchie sostanze, e della forza dispersiva.***—Ponendo ben mente agli spettri generati da prismi di materie diverse, non si durerà molta pena a rendersi certo che i vari colori, quantunque nello stesso modo ordinati, non occupano lunghezze proporzionali. Così un prisma di flint. per esempio, dà proporzionatamente meno rosso e più violetto in confronto di un altro prisma di crown, e vi sono altri corpi ne'quali le differenze sono anche più spiccate. In generale può affermarsi che lo stesso colore si mostra or più concentrato or più diffuso. Ognun comprende che questo fenomeno deriva dagl' indici di rifrazione corrispondenti a ciascun colore. La differenza di quest' indici presa tra il violetto ed il rosso è ciò che dicesi *dispersione* della luce. Una materia è tanto più dispersiva, per quanto più grande tal differenza per essa ritrovasi. Laonde nell' antecedente tavola osservasi che la luce compresa tra la prima e la settima riga trovasi espressa dai seguenti numeri:

Flint. n° 13	0,043312
Crown n.° 9	0,020734
Acqua	0,013242
Acqua	0,013185
Potassa	0,016739
Terebintina	0,023378
Flint n. 3	0,038331
Flint n. 30.	0,042502
Crown n. 13	0,020372
Crown Lit. M.	0,024696
Flint n. 23 prisma 60°	0,043090
Flint n. 23 prisma 45°	0,043116

L' acqua è dunque tra tutte queste materie quella che ha la minore dispersione, e la maggiore appartiene al flint. Tutto questo si può agevolmente rendere aperto alla vista prendendo un prisma di acqua ed un altro di flint i cui angoli sian tali, per esempio, che i raggi rossi patiscan presso a poco lo stesso deviamento; imperciocchè allora si potrà vedere che alla stessa distanza il primo spettro sarà molto meno lungo del secondo.

Egli non è solo necessario di conoscere la dispersion totale per ciascuna materia, ma è mestieri anche conoscer la dispersione che essa genera sopra i diversi raggi. Così pei raggi compresi tra la prima e la seconda riga, le dispersioni del flint n. 13, del crown n. 9, e dell' acqua, sono rispettivamente 0,001932, 0,001017, 0,000777; imperciocchè esse sono le differenze degl' indici di rifrazione corrispondenti ai limiti dell' intervallo, cioè alla prima ed alla seconda riga.

Quando la dispersion parziale o totale di una sostanza si divide per la corrispondente dispersione di un'altra sostanza, si ha la *ragione delle dispersioni*. Per tal modo la seguente tavola è stata ricavata dall'antecedente.

Tavola delle dispersioni parziali di parecchie materie prese a due a due.

MATERIE RIFRATTIVE	$\frac{n_3-n_1}{n'_3-n'_1}$	$\frac{n_3-n_2}{n'_3-n'_2}$	$\frac{n_4-n_3}{n'_4-n'_3}$	$\frac{n_5-n_4}{n'_5-n'_4}$	$\frac{n_6-n_5}{n'_6-n'_5}$	$\frac{n_7-n_6}{n'_7-n'_6}$
Flint-glass n. 13 ed acqua.	2,562	2,871	3,073	3,193	3,460	3,726
Flint-glass n. 13 e crown glass. n. 9.	1,900	1,956	2,044	2,047	2,155	2,195
Crown-glass n. 9 ed acqua	1,349	1,468	1,503	1,560	1,613	1,697
Olio di terebentina ed acqua	1,371	1,557	1,723	1,732	1,860	1,963
Flint-glass n. 13 e olio di terebentina	1,868	1,844	1,783	1,843	1,861	1,899
Flint-glass n. 13 e kali . .	2,181	2,388	2,472	2,545	2,674	2,844
Kali ed acqua	1,175	1,228	1,243	1,254	1,294	1,310
Olio di terebentina e kali .	1,167	1,268	1,386	1,381	1,437	1,498
Flint-glass n. 3 e crown-glass. n. 9.	1,729	1,714	1,767	1,808	1,914	1,956
Crown-glass n. 13 ed acqua	1,309	1,436	1,492	1,518	1,604	1,651
Crown-glass Litt M. ed acqua	1,537	1,682	1,794	1,839	1,956	2,052
Crown-glass Litt. M. e crown-glass n. 13.	1,174	1,171	1,202	1,211	1,220	1,243
Flint-glass n. 13 e crown-glass. Litt. M.	1,667	1,704	1,715	1,737	1,770	1,816
Flint-glass n. 3 e crown-glass Litt. M.	1,517	1,494	1,482	1,534	1,579	1,618
Flint-glass n. 30 e crown-glass n. 13.	1,932	1,904	1,997	2,064	2,143	2,233
Flint-glass n. 23 e crown-glass n. 13.	1,904	1,940	2,022	2,107	2,168	2,268

Dalla tavola precedente si vede, che in generale la ragione delle dispersioni parziali delle diverse materie è molto varia, e che ordinariamente suol crescere andando dagl' intervalli delle prime righe agli ultimi. Pur non di meno per lo flint n. 13 e la terebintina le ragioni son quasi le stesse in tutta la lunghezza dello spettro, e per lo flint n. 3 e crown litt. m. la minima ragione trovasi compresa tra la terza e la quarta riga. Sarebbe importante di verificare per esperienza ciò che in generale questi ultimi risultamenti sembrano di presentare.

La forza dispersiva di un corpo è il quoziente che si ha dividendo la sua dispersione per l'indice di media rifrazione diminuito dell' unità. Chiamasi *indice di media rifrazione* quello che appartiene alla luce media dello spettro, cioè alla riga *e*.

390. *Dell' acromatismo.* — Prismi *acromatici* diconsi quelli che hanno la proprietà di deviare la luce senza manifestazione di colori, ed in simil guisa lenti acromatiche diconsi quelle che ne' loro fuochi generano immagini senza colori. Per molto tempo l'*acromatismo* fu reputato impossibil cosa: si pensava cioè che non si potesse deviare la luce senza veder nascere i colori: e fu propriamente lo stesso Newton che fu indotto in questo errore, il quale non fu conosciuto se non dopo molti anni e dopo lunghe dispute insorte tra i più valorosi geometri, quali furono un Eulero, un Clairaut, un d'Alembert. Hall veramente nel 1733 avea fatto delle lenti acromatiche e le tenea senza aver pubblicata la sua invenzione, e Giovanni Dollond avea fatta e pubblicata la stessa scoperta nel 1757; ma convien distinguere un fatto particolare da una teoria generale. La scoperta di Dollond fu sicuramente un grande avvenimento per l'Astronomia, ma era mestieri allargarla col calcolo; e porre le condizioni senza le quali la più industre pratica non avrebbe potuto giungere alla necessaria perfezione. Ora dopo tanti progressi, tanto in ottica quanto nell' arte di lavorare i vetri, e con tutti gli aiuti che i fisici ricevono dal calcolo, la quistione dell' acromatismo è tuttavia una delle più delicate e delle più difficili in teoria ed in pratica. Noi dobbiamo solo proccurare di fare intendere i principii, da' quali la fabbrica de' prismi e delle lenti acromatiche dipende.

Per mezzo del calcolo si dimostra, che un raggio di luce semplice attraversando qualunque numero di prismi prova un deviamento d espresso della seguente formola (1):

$d = (n-1)a + (n'-1)a' + (n''-1)a''$, ec.

a, a', a'', ec. sono gli angoli rifrattivi dei prismi, ed n, n', n'', gl' indici di rifrazione del raggio semplice di cui si parla rispettivamente alla materia di ciascun prisma.

Se alcuni de' prismi abbiano i loro angoli rifrattivi in verso contrario, i termini corrispondenti della formola dovranno esser presi col segno *meno*.

Laonde nel caso di due prismi, ch' è il solo che debbiamo qui mettere in disamina, si avrà, secondo che gli angoli sian rivolti per lo stesso verso o per versi opposti:

$$d = (n-1)\,a + (n'-1)\,a' \ (fig.\ 220),$$
$$d = (n-1)\,a - (n'-1)\,a' \ (fig.\ 221).$$

Per mezzo di quest' ultima formola si può agevolmente determinare quale debba essere la ragione degli angoli rifrattivi di due prismi la cui materia sia nota, affinchè per la loro unione un raggio di conosciuta rifrangibilità non soffra alcun deviamento; imperocchè il deviamento essendo nullo, si avrà:

$$(n-1)\,a = (n'-1)\,a',$$

$$\text{donde} \ \ldots\ldots\ a = \frac{n'-1}{n-1}\,a'.$$

Supponghiamo per esempio che la materia del prisma g' sia il crown n. 9 (tavola pag. 94) ed il prisma g del flint n. 13: l'indice di rifrazione del primo pei raggi della prima riga sarà $n' = 1{,}525832$, e quello del secondo per lo stesso raggio sarà $n = 1{,}627749$; donde risulta

$$a = 0{,}8376\ a'$$

cioè che l'angolo del prisma di flint deve esser solo di 83 od 84 centesimi dell' angolo del prisma di crown; se questo per esempio è di 25°, il primo deve essere di 20°,56′ 28″.

Se si volesse che i raggi della settima riga non avessero deviamento, sarebbe mestieri prendere per n ed n' gl' indici di rifrazione corrispondenti a questi raggi, cioè $n' = 1{,}546566$, $n = 1{,}671062$, e si ricaverebbe

$$a = 0{,}8145\ a'$$

per conseguenza per $a' = 25°$ si avrebbe $a = 20°\ 21'\ 43''$.

(1) V. Santini, Teoria e pratica degli stromenti ottici.

Laonde supponendo un prisma di crown s (*fig.* 222) di 25° e dietro di esso un prisma di flint s' di 20° 21′ 43″, il raggio bianco che cadrebbe sopra questo sistema nella direzione li sarebbe decomposto ed uscirebbe in una direzione tale che il raggio violetto $i'v$ della settima riga sarebbe parallelo al raggio incidente, ed il raggio rosso $i''r$ della prima sarebbe inclinato verso la base di un prisma di crown, imperciocchè esso non diventa parallelo al raggio incidente se non quando il prisma di flint è di 20° 56′ 28″. Or, se il prisma di flint non vi fosse, si avrebbe uno spettro $r'v'$ nel quale v' sarebbe al di sotto di r'. Supponendo dunque che l'angolo del prisma di flint cresca gradatamente da 0 fino a 20° 21′ 43″, vi dovrà essere un angolo per lo quale i raggi della prima e della settima riga escono tra loro paralleli, imperciocchè passando da $r'v'$ in rv essi cambiano le rispettive giaciture; e questo è l'angolo dell'acromatismo.

Dopo di aver dimostrato esservi un angolo che genera l' acromatismo, è agevole di trovarne il valore; imperciocchè i deviamenti d_1 e d_7 de' raggi della prima riga essendo tra loro eguali, e sapendosi per l' equazioni

$$d_1 = (n_1 - 1)\,a - (n'_1 - 1)\,a';$$
$$d_7 = (n_7 - 1)\,a - (n'_7 - 1)\,a'$$

si avrà:

$$(n_1 - 1)\,a - (n'_1 - 1)\,a' =$$
$$(n_7 - 1)\,a - (n'_7 - 1)\,a'$$

$$\text{donde}\ a = a'\,\frac{(n'_7 - n'_1)}{n_7 - n_1}$$

e posti gli antecedenti valori di n ed n' per la prima e per la settima riga, ne segue

$$a = 0{,}4787\ a';$$

e poichè $a' = 25°$, si ha $a = 11°\ 58'\ 3''$.

Per la qual cosa un sistema composto di un prisma di crown n. 9 di 25° ed un altro di flint n. 13 di 11° 58′ 3″, è un sistema acromatico che attraversato dai raggi bianchi non separa quelli della prima e settima riga. Questi fasci intanto patiscono un deviamento di 5° 27′ 58″, siccome ognuno si può render certo ponendo nell'equazione da cui si ha d_1 i valori di a ed a', e per n ed n' i valori di n_1 ed n'_1, oppure i valori di n_7 ed n'_7 nell' equazione di d_7.

Si può in tal modo determinare per ogni caso la ragione degli angoli che debbono avere due prismi affinchè due raggi di conosciuta

rifrangibilità riprendano il loro scambievole parallelismo dopo di averli attraversati.

È mestieri intanto osservare che l'acromatismo per tal modo determinato è tanto più incompiuto, per quanto le ragioni delle dispersioni parziali delle due materie sono più variabili. Se queste ragioni fossero le stesse, i valori di a, determinati mercè l'antecedente equazione, diventerebbero gli stessi per tutt' i colori, e l'acromatismo sarebbe perfetto. Questo accaderebbe per esempio con prismi di flint n. 13 e di terebentina, siccome nella tavola a pag. 95 si può osservare. Ma coteste ragioni essendo generalmente varie da un colore all'altro, ne segue che il valore di g, necessario per riunir due colori, ancorchè sieno gli estremi, non è quello stesso che dovrebbe essere per riunire le tinte intermedie. In questo caso, in qualunque maniera si voglia l'acromatismo è imperfetto: per rimediarvi più compiutamente, si possono allora adoperare tre o quattro prismi di materie diverse, imperciocchè per la formola generale è facile d'intendere, che si possono far uscire parallelamente tanti raggi di rifrangibilità diverse per quanti prismi si adoperano.

Mercè gli stessi principî si determina l'acromatismo delle lenti. Noi abbiam veduto che la distanza focale principale è data dalla formola

$$f=\frac{rr'}{(n-1)\,(r'-r)}.$$

Supponghiamo che, dopo di aver fatto una lente convergente di crown, si voglia determinare le curvature di una lente di flint, affinchè i raggi della prima e della settima riga faccian le loro immagini alla stessa distanza, dopo aver attraversato il sistema. Fingiamo per maggiore semplicità che la lente di crown sia convesso-convessa e di eguali raggi, e che la lente di flint abbia lo stesso raggio di curvatura da quella parte in cui tocca quella di crown (*fig.* 223); resta solo a determinare il raggio di curvatura della seconda faccia della lente di flint. Sia f'_{1} la sua principal distanza focale pe' raggi della prima riga, e p il punto ove concorrerebbero i raggi paralleli di questa specie se fossero solo modificati dalla lente di crown: egli è chiaro che per cagione della lente di flint essi andranno ad unirsi in un punto più lontano per esempio in m; e per contro se in m si ponesse un punto luminoso, i raggi della prima riga si troverebbero diretti dopo di avere attraversato la lente di flint, come se il loro prolungamento passasse per lo punto p; tra le due distanze dunque $ap=f$, $am=b$ si ha la relazione seguente

$$\frac{1}{f_{1}}=\frac{1}{f'_{1}}+\frac{1}{b},$$

f_{1} essendo la principal distanza focale della lente di crown pe' raggi della prima, ed f'_{1} quella della lente di flint per gli stessi raggi.

Ora per la condizione cui noi vogliamo sodisfare, l'incognito valore di b dovendo essere lo stesso pe' raggi della settima riga e per quelli della prima, si avrà anche per questi ultimi

$$\frac{1}{f_{7}}=\frac{1}{f'_{7}}+\frac{1}{b},$$

f_{7}, ed f'_{7} dinotando le distanze focali della lente di crown e di quella di flint pe' raggi della settima riga. Quindi segue:

$$\frac{1}{f_{1}}-\frac{1}{f_{7}}=\frac{1}{f'_{1}}-\frac{1}{f'_{7}}.$$

Inoltre per la lente di crown, i cui raggi sono eguali, si ha in generale:

$$f=\frac{r}{2(n-1)},\ f_{1}=\frac{r}{2(n_{1}-1)}\ \text{ed}\ f_{7}=\frac{r}{2(n_{7}-1)};$$

donde risulta

$$\frac{1}{f_{1}}-\frac{1}{f_{7}}=\frac{2(n_{1}-n_{7})}{r}.$$

Per la lente di flint, i cui raggi r ed r' sono disuguali, si ha

$$\frac{1}{f'_{1}}-\frac{1}{f'_{7}}=\frac{(r'-r)\,(n'_{1}-n'_{7})}{rr'};$$

d'onde finalmente risulta:

$$r'=\frac{r\,(n'_{7}-n'_{1})}{n'_{7}-n'_{1}-2\,(n_{7}-n_{1})}$$

e secondo gli antecedenti valori di n_{1}, n_{7}, n'_{1}, n'_{7}

$$r'=23,47\,r,$$

cioè il raggio r' deve essere più di venti volte il raggio r.

Se suppongasi per esempio $r=1^{m}$, si avrà $r'=23^{m},47$, ed il valore di b, ossia la distanza focale principale di questa lente composta, si potrà allora agevolmente trovare, e si vedrà essere $b=2^{m},22$.

Ma la coincidenza de' raggi estremi non determina punto quella de' raggi intermedi; ed affinchè l'acromatismo riesca perfetto, sarà mestieri per le lenti, del pari che pe' prismi, che le dispersioni parziali serbino la stessa ragione in tutta la lunghezza dello spettro. Del rimanente il calcolo degli obbiettivi dei cannocchiali presenta una difficoltà di più pe' cui

particolari noi non dobbiamo entrare, e questa deriva dalla necessità di tener conto dell' aberrazione di sfericità.

CAPO V.

DELLA VISIONE, E DEGLI STRUMENTI DI OTTICA.

400. Visione. *Composizione dell' occhio.*— La forma esterna dell' occhio è presso a poco quella di due segmenti sferici di raggi diversi uniti con le loro basi (*fig.* 224); il più piccolo è quello che presenta dalla parte esterna la parte diafana e prominente dell' occhio. Cotesta forma è mantenuta da una membrana grossa e fibrosa, di un fortissimo tessuto, la quale ha ricevuto il nome di *sclerotica*, quando questa si considera per lo intero invoglio dell' occhio; ma nella parte anteriore si chiama *cornea trasparente*, e *cornea opaca* nelle parti che formano il *bianco* dell' occhio o tutta la parte posteriore *b*. Ne' punti *s* ed *s'*, dove la cornea da opaca divien trasparente, trovasi dalla parte interna tesa la membraoa colorata dell' *iride ss'*, avente, siccome è risaputo, la figura di un piano circolare forato nel mezzo da un buco rotondo, più o meno aperto e perfettamente nero che dicesi *pupilla*. Dietro l'iride trovasi sospeso il cristallino *cc'*: esso è chiuso in una particolar membrana detta *capsula del cristallino*, la quale congiungesi alla cornea con tutt' i punti del suo orlo. Cotesta capsula forma un compartimento continuo, che divide l' occhio in due parti o in due *camere*; il liquido, che riempie la *prima camera*, ovvero la camera anteriore, chiamasi *umore aqueo*, ed *umore vitreo* quello che riempie la seconda camera. Tali liquidi son contenuti entro particolari invogli: quello dell' umor vitreo si chiama *ialoide*.

Tra l' ialoide e la sclerotica trovansi anche due altre membrane, la *coroide* e la *retina*, le quali prestano importanti servigi alla visione.

La coroide è una membrana vascolare che veste tutta l' interna superficie della sclerotica dal fondo dell' occhio fino alla capsula del cristallino: alcuni anatomisti pretendono che essa sia prodotta innanzi è formi l' iride col ripiegarsi sopra se stessa.

La *retina* altro non è che lo sfioccamento del nervo ottico; questa è semplicemente appoggiata sulla coroide, e se ne stacca facilmente nella sezione anatomica che si fa dell' occhio. Cotesta membrana, o piuttosto reticella nervosa, offre una trasparenza quasi perfetta.

Ecco presso a poco il generale ordinamento delle principali parti che compongono l' organo della vista. Le medie dimensioni dell' occhio umano sono le seguenti:

Raggio di curvatura della sclerotica	10 in 11 millimetri
Id. dalla cornea trasparente	7 in 8
Diametro dell' iride	11 in 12
Id. della pupilla	3 in 7
Grossezza della cornea trasparente	1
Distanza della pupilla dalla cornea	2
Distanza della pupilla dal cristallino	1
Raggio anteriore del cristallino	7 in 10
Raggio posteriore dello stesso	5 in 6
Diametro del cristallino	10
Grossezza dello stesso	5
Lunghezza dell' asse dell' occhio	22 in 24.

Dopo le cose antecedenti, facciamoci a vedere quali modificazioni patisce la luce, attraversando i diversi mezzi che compongono l' occhio.

Quando un punto luminoso è posto alla distanza di 8 in 10 pollici dall' occhio sull' asse del cristallino, una parte del fascio che viene da questo punto cade sul bianco dell' occhio ed è irregolarmente riflessa per ogni verso; la parte centrale cade sulla cornea trasparente, penetra col rifrangersi nell' umore aqueo, e la parte più esterna di questa illumina il contorno dell' iride, nell' atto che la parte perfettamente centrale entra nella pupilla per mezzo dell' umore aqueo, attraversa il cristallino, l' umor vitreo, la stessa retina e va a cadere sulla coroide. La luce che cade sull' iride è irregolarmente riflessa per ogni verso, e quindi fa vedere dal di fuori la figura ed il colore di questa membrana. Il fascio centrale che attraversa la pupilla è rifratto dal cristallino, come lo sarebbe da una lente convergente; imperocchè il cristallino è più rifrattivo dell' umore aqueo, ed anche più dell' umor vitreo; per

la qual cosa, sotto alcune condizioni questo fascio divenuto convergente, deve in qualche parte formare un' immagine del punto luminoso donde esso è partito. Supponghiamo per poco che questa immagine accada perfettamente sulla retina o sulla coroide in *m*: allora egli è chiaro, che un altro punto luminoso *l'* darà del pari un' immagine in *m'*, e si avrà così nel fondo dell' occhio una piccola immagine *mm'* dell' obbietto *ll'*; cotesta immagine sarà rovesciata, ma presenterà tutte le tinte, tutti gli accidenti della luce, e tutt'i dintorni dell' obbietto.

Tutto questo si può coll'esperienza verificare, ponendo nel buco dell' imposta di una camera oscura un occhio di bue o di montone di fresco morto, il quale sia assottigliato dalla parte posteriore, fino a che l'invoglio resti traslucido: l'osservatore posto nella camera oscura vedrà allora, con assai distinzione sul fondo dell' occhio esposto all' esperienza, l'immagine di una fiamma o d' altro corpo fortemente illuminato.

Laonde il fenomeno fisico della visione, considerato in un modo generale, sembra essere un risultamento semplicissimo delle leggi di rifrazione e del potere delle lenti; ma quando si pon mente più da vicino a tutte le circostanze che accompagnano la formazione delle immagini, s' incontrano difficoltà delle quali finora la scienza non ha potuto render pienamente ragione. Le più notevoli tra queste difficoltà sono le due seguenti:

1° L'occhio è acromatico; imperciocchè gli oggetti non ci appariscon circondati da frange colorate.

2° La nettezza delle immagini sembra derivare dalla distanza degli oggetti; imperciocchè noi vediamo con chiarezza anche alla distanza di alcuni piedi, di alcune tese, di alcune leghe, e perfino di alcuni milioni di leghe: l'immagine di una stella è così chiara come quella di una scintilla che abbiam sott'occhio.

Per venire a capo della prima difficoltà sarebbe mestieri conoscere perfettamente l'indice di rifrazione, le potenze dispersive, e le curvature di tutt' i mezzi che la luce attraversa dalla cornea fino alla retina; cosa tanto più intrigata e difficile, in quanto che le diverse parti del cristallino hanno rifrazioni e potenze dispersive diverse. Si potranno per altro sul proposito consultare utilmente le memorie del signor Chossat (*Ann. de Phys. et de Chim*). Per soddisfare alla seconda difficoltà son ricorsi i fisici a parecchie ipotesi delle quali gioverà conoscere il contenuto.

401. *Ipotesi per le quali si è procurato d'intendere come l' occhio si accomoda alle diverse distanze.* — Per dimostrare prima di tutto che l'occhio si accomoda alle diverse distanze, basterà indicare le seguenti sperienze.

Sopra un vetro sottile e trasparente si fa una piccola macchia e si presenta all' occhio alla distanza di sei, otto o dieci pollici: allora guardando questa macchia si vedrà un'immagine confusa degli obbietti, che sono al di là del vetro; e per contro quando, senza muover l' occhio, si guardino gli oggetti più lontani, si vedrà una confusa immagine della macchia. Gli obbietti dunque, che sono a dieci pollici e quelli che sono più lontani, non formano le loro immagini nello stesso tempo e colla stessa precisione sul fondo dell' occhio, imperocchè altrimenti vedrebbonsi tutti in un tempo stesso distinti e senza confusione. Per la qual cosa l' occhio per un atto di volontà disponsi per vedere or da vicino or da lontano; e però si trova il sentimento di una diversa modificazione per ciascuna distanza cui si mira. Per render ragione di questa proprietà molte ipotesi sonosi immaginate: pongono alcuni che l' intero occhio si allunghi o si accorci; altri dicono che la cornea trasparente rendesi più o meno convessa; altri pretendono che il cristallino alquanto si restringa o si smuova. Ma egli è ben certo che l' occhio non si allunga punto, e che la cornea non muta la sua curvatura; non pare poi affatto probabile la contrazione del cristallino, ed è impossibile che questo si smuova.

Avendo fatte alcune ricerche sul proposito, sono stato guidato ad un'osservazione che sembrami importante. La sezione di molti cristallini mi ha fatto vedere, che questo corpo non è punto composto di falde concentriche, siccome erasi creduto, ma di falde disuguali per curvatura e grossezza, siccome vedesi nelle figure 225 e 226. Quest' ultima figura rappresenta un cristallino nel quale solo una metà è disseccata. Donde segue che le falde centrali essendo ad un tempo più curve e più rifrattive di quelle degl orli, i raggi che attraversan quest' ultime non posson concorrere nello stesso punto con quelli che hanno attraversate le prime. Il fascio centrale *cc'* converge di più, e quello degli orli *bb'* converge meno. Laonde il cristallino non è una lente ad un sol fuoco, ma ne ha un numero infinito. Questo fatto sembrami costante; e senza discorrere di tutt'i suoi particolari, procurerò d'indicare come per esso si può dare ragione dei fenomeni. Se prima di tutto innanzi all'occhio si ponga una lamina opaca nel cui mezzo sia un bucolino che abbia il diametro minore di un millimetro, si distin-

gueranno con precisione degli obbietti fino alla minima distanza da cui potrebbero esser veduti senza di questa lamina; il che accade perchè il fascio che penetra l'occhio è così delicato, che appena è necessario di diminuirlo di più affinchè colla sua convergenza generi immagini nette. Ancora, non osservasi alcuna differenza quando il piccol buco corrisponde agli orli o al centro della pupilla. Con un sottilissimo fascio dunque si può veder bene a qualunque distanza e per tutte le zone del cristallino.

Quando un obbietto si guarda senza diaframma e si vuol guardarlo da minore distanza, si restringe l'apertura della pupilla; è questo un fatto che puossi agevolmente verificare. Il fine di cotal restringimento è appunto di arrestare i raggi che cadrebbero troppo lungi dal centro del cristallino, e la cui convergenza dovrebbe avvenire al di là della retina.

Quando vuolsi guardare da lungi apresi al contrario la pupilla per quanto è possibile, affinchè il fascio incidente sia largo e i suoi raggi esterni cadano sugli orli del cristallino e vadano a riunirsi sulla retina. È vero che in questo caso la parte centrale del fascio converge troppo presto; ma l'espansione che essa può prendere dopo di essersi riunita è assai piccola sulla retina, e può tanto meno turbar la visione in quanto che il suo splendore è debolissimo per rispetto a quello della luce degli orli.

402. *Giudizio sul colore, sulla forma, sul sito e sulla grandezza degli obbietti.* — I colori come i suoni discernonsi senza l'aiuto del tatto; ma non li distinguiamo senza esercizio, nè senza paragoni. È mestieri far molte sperienze per conoscere che il rosso, il giallo ed il turchino, per esempio, non fanno sopra di noi la stessa impressione; siccome molte sperienze ci vogliono per ravvisare una differenza tra i tuoni gravi e gli acuti. Noi vediam la luce prima di saper discernere i colori, siccome udiamo i rumori prima di saper discernere i suoni. Questo che sembra naturale vien rifermato da osservazioni fatte sui ciechi nati, ai quali poi si è renduta la vista in età più o meno avanzata.

Le immagini dipinte sulla retina sono per colore per contorno e per forma simili perfettamente agli obbietti; affinchè dunque possiamo avere *direttamente* un' idea della forma di un obbietto, basterà poter distinguere i punti della retina colpiti dalla luce, da quelli che non lo sono. Or non v'ha punto della superficie del nostro corpo sul quale questa distinzione non riesca facile. Una puntura al braccio si distingue da una puntura al dito, e noi potremmo certamente con lo braccia; del pari che con la palma della mano, discernere la differenza che passa tra un cerchio e un quadrato. Non v'ha dunque alcuna ragione per cui questa differenza non possa essere anche con maggior giustezza e precisione conosciuta sulla membrana della retina. Le immagini degli obbietti nel fondo dell'occhio sono a rovescio, e però altri ne inferì che noi naturalmente dobbiamo vedere gli obbietti *a rovescio*. Cotesta conseguenza sarebbe verissima, se l'anima fosse posta dietro dell'occhio e guardasse le immagini, come farebbe una persona che si trovasse dietro del piano di una camera oscura. Ma se si supponga che l'anima non guardi punto le immagini, ma che le senta e si elevi dalla sensazione alla causa che la produce, renderassi aperto che la esterna esistenza dei corpi e la loro giacitura derivano per noi da uno stesso giudizio. Ei sembra per altro che i sensi della vista e dell'udito non sarebbero sufficienti a guidarci alla conoscenza del di fuori; e tutto par che c' induca a pensare che il tatto ci offra dei dati necessari che indarno potrebbonsi aver dagli altri sensi (1).

Assicurata l'esterna esistenza degli obbietti, in parecchi modi si può giudicare delle loro distanze. 1° Il cono luminoso che cade sulla pupilla è tanto più divergente per quanto più vicino è il punto da cui parte, e, secondo quel che non ha guari dicemmo, è mestieri che l'occhio si conformi in guisa, per ciascuna distanza, che si generi sulla retina una immagine bastantemente terminata. La coscienza che abbiamo di cosiffatta conformazione dell'occhio, diventa per abito il segno pel quale giudichiamo della distanza. 2° Inoltre, quando noi guardiamo con ambidue gli occhi, dobbiamo dare agli assi ottici una inclinazione scambievole tanto più grande per quanto più vicino è posto l'obbietto; noi abbiamo parimenti coscienza di questa inclinazione, e potrebbe esser questo un altro indizio, che unito al primo, renderebbe più veri i nostri giudizi, imperocchè facilmente sbagliamo guardando con un solo occhio, a meno che non fossimo molto esercitati.

Distanza della visione distinta dicesi quella dalla quale noi nettamente e senza stento vediamo i vari oggetti, come per esempio una pagina stampata con caratteri di mezzana grandezza. Questa distanza è di circa 10 pollici per una vista media; essa poi è di alcuni piedi pe' presbiti e di pochi pollici pe' miopi,

(1) Tutto questo è secondo la filosofia di Condillac.

ma varia secondo la grandezza degli oggetti; così non si potrebbe dalla stessa distanza discernere egualmente bene lettere minutissime ed altre di mezzana grandezza.

Quando gli obbietti sono talmente lontani che gli assi ottici divengono sensibilmente paralleli, noi non abbiamo più alcuna regola certa per giudicare delle distanze. Allora ricorriamo ad alcune considerazioni più o meno fallaci: facciam conto dello splendore della luce, della precisione con la quale distinguiamo i particolari, della grandezza degli obbietti, se eraci nota da prima, ec. Con questi mezzi giudiziosamente combinati, alcuni giungono a dare al loro giudizio una precisione maravigliosa: ma se costoro mutano luogo o clima, la loro scienza vacillerà, o pel nuovo aspetto del cielo, o per un'aria più vaporosa, o per obbietti di forma novella.

Il giudizio sulla *grandezza* è generalmente una conseguenza di quello della distanza. L'immagine di una nave può essere nel fondo dell' occhio di un osservatore molto più piccola di quella di una barca, e pure l' osservatore non sarà da questo indotto in inganno; egli dirà che il vascello è più grande della barca, perchè potrà giudicare quello essere di questa più lontano. Or quando eraci da prima nota la grandezza di un oggetto, questo ci gioverà per giudicare della sua distanza: così, per esempio, si sa meglio stimare l' altezza di una torre, quando sulla sua cima trovinsi degli uomini o altri obbietti di conosciuta grandezza; ma se cotesti uomini fossero nani, l' occhio non per questo ne sarebbe illuso, imperocchè troverebbe sicuramente nelle modificazioni della luce dei mezzi per non cadere in errore.

402. *bis. Con ambidue gli occhi si vede un solo obbietto ma meglio rischiarato.* — Quando con tutti e due gli occhi guardiamo un dipinto, diamo alle figure di esso una certa giacitura per rispetto a noi, e siccome questa è perfettamente la stessa o che guardiamo con un solo occhio o con l'uno e con l'altro insieme, è impossibile che il dipinto ci comparisca duplicato quando con tutti e due gli occhi lo guardiamo. Non accade più la stessa cosa quando noi guardiamo un obbietto proiettato sopra un secondo piano alquanto più rimoto: questo obbietto nasconde ad un occhio una parte del secondo piano, ed un'altra parte all' altro, per conseguenza coi due occhi non si saprebbe decidere su qual parte del piano deve cadere. Ma non accade quasi mai che i due occhi abbiano perfettamente la stessa forza, o piuttosto ve n' ha sempre uno che la vince sull'altro e richiama più la nostra attenzione, e però noi decidiamo secondo l' impressione di questo (1).

Per assicurarci che un obbietto guardato con tutti e due gli occhi vedesi più chiaramente che per un solo, basterà guardare un ritaglio di carta bianca con un occhio, e porre innanzi all'altro un ostacolo che ce ne nasconda la metà: la parte che è veduta da entrambi gli occhi nello stesso tempo sembra molto più chiara di quella che è veduta da un solo.

403. *Della durata delle immagini, e dei colori accidentali.* — Poichè un carbone acceso mosso velocemente in giro ci sembra un cerchio di fuoco, ne segue chiaramente che le impressioni fatte sulla retina durano per qualche tempo, dopo che la causa ha cessato di operare. Egli è facile il rendere aperto che questa durata deriva dalla intensione della luce e dalla sensibilità dell'organo. Con questo principio si rende ragione di molte illusioni; per esempio di quelle del *taumatropo*, del *fenachisticopo*, del *fantascopo*, ec. e quelle che produconsi facendo girare per lo stesso verso o per versi contrarj l'una innanzi l' altra due ruote concentriche o eccentriche, ciascuna delle quali abbia un certo numero di raggi foschi o brillanti. Il signor Plateau ha fatto sul proposito delle ingegnosissime ricerche (*Ann. de Phy. et de Chim.* t. 53 e 58).

È mestieri similmente che l'azione della luce duri qualche tempo sulla retina affinchè se ne senta l'impressione. Questa durata dipende principalmente dallo splendore della luce: da ciò avviene che noi distinguiamo una scintilla elettrica o un baleno, quantunque la loro luce sia quasi istantanea; nell'atto che non vediamo una palla di cannone o altro corpo che abbia minore velocità, ma luce meno intensa.

Quando i corpi finiscono di apparirci co'loro naturali colori, allora si dice ch' essi prendono dei *colori accidentali*. Si distinguono due maniere di colori accidentali, i *passaggieri* cioè ed i *permanenti*. 1° Quando, dopo aver guardato il sole per qualche tempo, si chiudon gli occhi, l'immagine che dura per poco altro tempo prende diversi colori; quando dopo aver guardato un corpo fortemente illuminato si volgan subito

(1) Se sopra un foglio di carta si faccia con l' inchiostro un punto e dalla distanza della visione distinta si fissi a questo lo sguardo, ponendo il cannone della penna parallelo alla carta tra gli occhi ed il punto anzidetto, si vedrà duplicata la penna; e duplicato al contrario il punto se gli assi ottici sian diretti alla penna.

gli occhi sopra un corpo di altro colore, si ha una sensazione complessa, risultante dall'immagine presente del secondo corpo e dall'immagine del primo che tuttavia dura, e però il secondo corpo non comparisce del suo color naturale. Questi due esempi bastano per darci un' idea dei colori accidentali passaggieri, sopra i quali sonosi fatte alcune teoriche, nessuna delle quali ci sembra soddisfacente. 2° Quando un corpo colorato sta sopra un fondo nero, esso comparisce del suo color naturale; ma quando sullo stesso fondo nero, e presso del primo corpo, pongasi un secondo corpo di diverso colore, questi due corpi modificheránnosi a vicenda: i loro colori, o piuttosto le loro tinte, sono cambiate, e questo cambiamento par derivare dalla durata delle immagini; imperciocchè esso dura finchè i corpi son posti l'uno presso l'altro. Il signor Chevreul ha fatto uno studio particolare di questi fenomeni, e vi ha scoperto delle leggi assai notevoli. (*Mém. de l'Acadèm. des Sciences*, 1833).

401. *Di alcuni accidenti della vista.*—I *presbiti* hanno la vista troppo lunga: essi per poter leggere una carta debbon porla alla distanza di due o tre piedi; tutte le immagini sono confuse ad una distanza minore. Questa maniera di malattia, che viene ordinariamente con l'età, è chiaro derivare da un difetto di convergenza nei fasci che attraversano gli umori dell' occhio, e generalmente si suppone che ciò accada per una depressione della cornea o del cristallino. Tutti i presbiti son soliti a tener la pupilla pochissimo aperta, quasi sforzandosi continuamente per giovarsi del centro del cristallino anzichè degli orli, i quali, siccome abbiamo veduto, hanno maggior distanza focale. I *miopi* hanno la vista troppo corta; per veder bene gli obbietti essi li debbono avvicinare fino alla distanza di alcuni pollici; tutto ciò che trovasi al di là di questa distanza è per essi involto in una nube e forma immagini confuse nel fondo dell'occhio. È questa un' infermità opposta al presbitismo, e nasce da una cagione contraria; i fasci che attraversano l' occhio del miope prendono una convergenza troppo grande, ed incontransi prima di giungere alla retina. Supponsi generalmente che i miopi abbiano o la cornea o il cristallino troppo convesso; osservasi anche che la pupilla nei miopi è sempre molto allargata, come se si adoperassero per servirsi degli orli del cristallino, anzichè delle parti centrali, le quali hanno una distanza focale più svantaggiosa per essi, perchè più piccola.

Comunque la visione distinta avvenga, o con la distanza di otto in dieci pollici, come per la buona vista, o con la distanza di alcuni piedi, siccome si avvera pe' presbiti, o con distanza di alcuni pollici come nel caso de' miopi, è sempre necessario, affinchè la visione sia netta, di volgere l'occhio in modo conveniente, in guisa che l'immagine cada sopra un determinato punto della retina e non già in qualunque punto. Il punto, o per dir meglio il piccolo spazio sul quale deve cadere l' immagine per meglio vedere, chiamasi il *punto sensibile* della retina; questo trovasi generalmente intorno all' asse dell'occhio.

V'ha parimenti nel fondo dell' occhio un punto detto *insensibile*, ovvero *punctum coecum*, il quale è il piccolo spazio circolare, occupato dall'estremo del nervo ottico e d' onde partono tutti que'filamenti nervosi, che in mille modi intrecciandosi formano la retina. La luce che cade sopra questo spazio genera una impressione simile a quella che si avrebbe se cadesse sopra ogni altro nervo scoperto; e siccome i nervi del gusto, dell'udito e dell'odorato, del pari che i nervi delle braccia o delle gambe, non sono atti a farci discernere la luce, così non lo è nè anche il nervo ottico, prima che si spanda in rete sulla coroide. Questo fatto degno di nota par che ci faccia giudicare che la retina senta le immagini sulla coroide, siccome la mano sente le forme, i contorni ed i varj gradi di levigatezza de' corpi che tocca.

L'esistenza e la giacitura del punto insensibile della retina si conosce mercè la seguente esperienza (*fig.* 227). Sopra un fondo nero ed orizzontale *nn'* pongonsi due piccoli dischi bianchi o due piccole palline, i cui centri siano tra loro distanti per circa tre pollici, ed in tale giacitura che l' occhio destro sia verticalmente al di sopra del disco di sinistra, e che la linea de' due occhi sia parallela a quella de' dischi; soddisfatte queste due condizioni, chiudesi l'occhio sinistro, ed il disco a sinistra si guarda con l'occhio destro; allontanandolo o accostandolo un poco, sempre nella stessa verticale, si troverà una giacitura in cui il disco della destra diventerà perfettamente invisibile; un poco più vicino, un poco più lontano tosto apparirà, e non isparirà mai se la linea degli occhi sia alquanto obbliqua a quella dei dischi.

Il dottore Wollaston ha osservato sopra se stesso un singolarissimo fenomeno di visione. Un giorno, dopo un lungo esercizio di due o tre ore, egli si avvide ad un tratto che gli oggetti gli apparivano solo per metà; guardando, per esempio, un uomo in faccia, egli ne vedeva solo la metà del viso e la metà del corpo, ec. Questo fenomeno di semi-visione durò

per circa un quarto d'ora; esso accadeva tanto per un occhio quanto per l'altro, ed anche per entrambi; la metà che diventava invisibile era sempre la sinistra, e però era la metà destra di ciascun occhio ch' era diventata insensibile. Vent'anni dopo questo accidente ritornò a rovescio, cioè sparve la parte destra degli obbietti. (Vedi la spiegazione filosofica ch' egli ne dà negli *Ann. de Phys. et de Chim.*, *tom.* 7. *pag.* 402).

404 *bis*. *Occhiali*. — Diconsi occhiali le lenti di cui si giovano i presbiti o i miopi per vedere distintamente gli obbietti alla distanza di 8 in 10 pollici. Supponiamo, per esempio, che un presbite non possa vedere nettamente se non alla distanza di trenta pollici; allora egli è chiaro che per lui le immagini non possono esser precise, a meno che la luce non penetri ne' suoi occhi con quella divergenza che ha quando viene dalla distanza di trenta pollici; per la qual cosa affin ch' egli possa vedere gli obbietti dalla distanza di dieci pollici, siccome ogni altro dotato di buona vista; basterà porre gli obbietti a questa distanza e modificare la luce proveniente da essi in guisa che non sia più divergente di quello che sarebbe venendo alla distanza di trenta pollici. Laonde la distanza b dell'obbietto dalla lente essendo di 10 pollici, la distanza m dell' immagine virtuale dovrà essere di 30 pollici, si avrà dunque

$$\frac{1}{10}-\frac{1}{30}=\frac{1}{f},$$

donde $f=+15$: cioè che un presbite il quale vede naturalmente dalla distanza di 30 pollici, deve adoperare immediatamente innanzi all' occhio una lente convergente di 15 pollici di distanza focale principale, per vedere gli obbietti alla distanza di dieci pollici.

In generale se d rappresenta la distanza della visione distinta, la principal distanza focale f della lente, convergente o divergente, che sarà necessaria per vedere alla distanza di dieci pollici sarà data dalla seguente formola:

$$f=\frac{10d}{d-10}.$$

Se $d>10$, f sarà positivo, l'occhio sarà presbite, e sarà mestieri usare la lente convergente; se $d<10$, f sarà negativo, l' occhio sarà miope, e la lente dovrà essere divergente: in ogni caso basta conoscer d per ricavarne f, e quindi la forza delle lenti che converrà adoperare.

405. *Lenti d'ingrandimento ossia microscopi semplici.* — Un microscopio semplice non è altro se non una lente convergente di cortissimo fuoco, e si dice anche lente d' ingrandimento. Questo strumento serve per vedere piccoli oggetti o piccole particolarità che non si potrebbero discernere ad occhio nudo.

L'oggetto che si vuol guardare col microscopio semplice deve trovarsi *ad una distanza minore della principal distanza focale*; questa distanza deve essere alquanto variata in ragione della vista, ma è agevole in ogni caso il ritrovar il punto preciso cui l'oggetto deve esser situato. E per fermo, sia x la distanza alla quale deve esser posto un oggetto innanzi ad una lente la cui principal distanza focale sia f, supponendo che l'occhio dell'osservatore si trovi immediatamente innanzi alla lente, e che la distanza della visione distinta per quest' occhio sia d: s' intende agevolmente esser mestieri che i raggi che partono dall' obbietto abbiano, dopo di avere attraversata la lente, quella stessa divergenza che avrebbero naturalmente venendo da un oggetto posto alla distanza d, dopo la emergenza, cioè debbono fare il lor fuoco ad una distanza d; si avrà dunque:

$$\frac{1}{x}-\frac{1}{d}=\frac{1}{f}; \text{ donde } x=\frac{df}{d+f}.$$

La figura 228 indica il cammino de' raggi: ab è la giacitura dell' oggetto, $a'b'$ quella dell'immagine virtuale, ed i triangoli simili acb ed $a'cb'$ danno:

$$\frac{a'b'}{ab}=\frac{cp'}{cp}; \frac{d}{x}=\frac{d+f}{f}.$$

Questa è l'espressione dell' ingrandimento, cioè della ragione tra la grandezza dell'immagine e quella dell'oggetto: da ciò si vede l' ingrandimento esser maggiore pe' presbiti che pe' miopi.

406. *Camera lucida — Camera lucida di Wollaston.* — Questo strumento è utile per ritrarre un obbietto, come un edifizio, un paesaggio, ec. Esso è principalmente composto di un prisma quadrangolare $abcd$ (*fig.* 229), avente un angolo retto in b, ed anche un angolo ottuso di 135° in d. La faccia cb è volta verso l'obbietto che si vuole ritrarre: essendo per esempio rx l' asse del pennello che viene da un punto di questo obbietto, s'intende che questo raggio, dopo di avere perpendicolarmente penetrato entro del prisma per la faccia cb, soffre in r una prima riflessione totale sopra cd, una seconda riflessione totale in r' sopra ad, e va finalmente ad uscire perpendicolarmente alla faccia ab presso il vertice a.

del prisma. Se l'occhio si trovi un poco al di sopra di questa faccia, in modo che la pupilla sia in pp', e col suo mezzo corrisponda al vertice a, egli è chiaro 1° che con la metà anteriore della pupilla si vedrà per riflessione l'immagine dell'obbietto x sul prolungamento di pr'; e 2° che con l'altra metà della pupilla si vedrà direttamente il punto di un piano orizzontale in cui questa immagine è projettata. Laonde tenendo in questo punto con la mano la punta della matita, si potrà nello stesso tempo vedere l'immagine e la punta della matita. Potendosi dire lo stesso de' punti vicini al punto x, ne segue che sull'anzidetto piano vedrassi un'immagine di una certa estensione, e la punta della matita ne potrà distinguere i più delicati contorni. Questo è il principio da cui dipende la formazione della camera lucida di Wollaston, e solo per fissare le idee abbiamo supposto che la pupilla venisse ripartita per metà dalla verticale del vertice a, essendo agevole l'intendere che essa può entro certi limiti avere diverse giaciture: la sola condizione importante è, che la pupilla riceva nello stesso tempo raggi riflessi e raggi diretti.

Affinchè questo strumento possa tornar comodo in pratica e non tormenti la vista, è mestieri che si faccia uso di vetri colorati per dare presso a poco alle due immagini la stessa vivacità, e di lenti per dare al loro raggi lo stesso grado di divergenza. Si può anche fare una camera lucida con un semplice specchio metallico forato da un buco di 3 o 4 millimetri; allora gli obbietti si veggono direttamente pel buco e la matita per la riflessione dello specchio.

407. *Camera oscura*. — La camera oscura è ordinata a presentare sopra di un piano la immagine reale di un campo di vista più o meno esteso.

Fatta nella maniera più semplice essa consiste in una sola lente convergente ll' (*fig*. 231) messa in un foro dell' imposta di un recinto perfettamente chiuso *fghv*. Se dal centro ottico c della lente si descriva un cono, il cui angolo *act* sia eguale al campo che essa può comprendere, tutti gli obbietti che si troveranno in questo daranno entro il recinto le loro immagini nette a varie distanze. E però pare impossibile di poter avere nello stesso tempo distinta l'immagine di tutta la veduta *at*: ma se la superficie che riceve l'immagine sia concava e sia segmento di una sfera $c'n'$, che abbia per raggio la principal distanza focale della lente, basterà inclinarla opportunamente in $c'a''$, per esempio, per avere una fedele espressione di tutto il campo di vista; ma se vi fossero degli obbietti molto vicini, come un albero in b, sarebbe impossibile dal punto c avere in pari tempo distinta l'immagine di questo e quella del suolo che viene appresso.

Le immagini si hanno in tal modo *rovesciate*: per raddrizzarle e recarle innanzi alla vista, si suole porre innanzi alla lente dalla parte di fuori uno specchio; in tal guisa si ha un altro vantaggio, perchè, girando ed inclinando opportunamente lo specchio, si possono successivamente far cadere sul centro della camera oscura tutte le immagini degli oggetti che trovansi innanzi alla medesima. Si perviene allo stesso scopo mercè il prisma a menisco della figura 232, la cui base *ab* fa da *riflettitore*, nell' atto che le facce *ac* e *cb* fanno le veci della lente convergente.

Affinchè le immagini siano più chiare e meglio terminate, giova arrestare con tubi e diaframmi tutti i raggi che non vengono dal campo dello strumento.

La figura 230 esprime una camera oscura portatile, l'ordinamento della quale per le cose dette s' intenderà facilmente (1).

408. *Microscopio solare*. — Questo stru-

(1) Dagherrotipo. La camera oscura fu inventata da Gio. Battista della Porta ed ebbe l'ultima perfezione dal Professore Amici: ma il Daguerre è riuscito dopo molti anni di ricerche a fissare le immagini sopra lamine di rame coperte di argento. Ecco in breve la maniera di fare queste piacevoli sperienze.

1° La camera oscura che si suole adoperare ha la figura di un parallelepipedo o prisma quadrangolare, il quale posto in sito orizzontale tiene nel mezzo di una delle sue basi una buona lente acromatica e nella base opposta un vetro amerigliato, che si toglie per porvi la lamina che deve ricevere l'immagine. Questa cassa parallelepipeda è composta di due parti che scorrono l'una dentro l'altra, affinchè il fondo della camera oscura possa accomodarsi per ricever distinte le immagini degli oggetti posti a diverse distanze. Rivolta la lente all'oggetto che si vuole ritrarre, si allunghi o si accorci la camera oscura finchè l'immagine si vegga sul vetro ben terminata.

2° Indi si prende una lamina di rame coperta di argento (piacchè), la quale sia levigatissima, e si pulisca con molta accuratezza. Prima si credea essere assolutamente necessarie certe operazioni indicate dallo stesso Daguerre; ma poi si è veduto che la sola condizione cui si devo soddisfare è di far che la superficie dell'argento sia netta e levigata.

3° Forbita così la lamina, si pone in una cornice di metallo, e s'introduce col lato dell'argento volto in giù entro una cassettina di legno, nel cui fondo sta un po' d'iodio e, ad una certa distanza, un finissimo velo che ne abbraccia tutta l'ampiezza a guisa di un diaframma. Chiuse le finestre, si abban-

mento, i cui effetti possono essere annoverati tra i più belli ed istruttivi dell'ottica, è composto di un sistema di vetri che servono ad illuminare l'oggetto, e di un sistema di lenti di corto fuoco per avere un'immagine reale. La figura 233 rappresenta sopra una scala di un quarto di grandezza il microscopio solare di Chevalier, che è il più perfetto.

Lo specchio *m* riflette la luce solare e dirige nel tubo *t* parallelamente al suo asse un fascio che lo deve riempire per intero: la lente rischiarante *ir* dà un primo grado di convergenza a questo fascio; il *focus f* che lo riceve lo fa convergere di più, in modo che il fuoco di questa lente corrisponda vicino all'obbietto sottoposto all'esperienza. Per conseguire questo fine, convien che il *focus* sia mobile, e però esso è guidato da un'asta dentata adagiata lungo il tubo, dalla parte interna e da un rocchetto, il cui bottone *b* è al di fuori del tubo.

Importante è la maniera di accomodare l'obbietto; quando, per esempio, si voglia osservare dei corpuscoli picciolissimi contenuti entro liquidi, come sarebbero i globetti del sangue, o gli animaletti di diverse specie, o le molecole cristalline, deposte dalle soluzioni che

dona l'esperienza a se stessa: l'iodio ridotto in vapori dal naturai calore dell'ambiente attraversa il velo, e si ferma sulla lamina per l'affinità che ha con l'argento; e quando la superficie di questo si vede di color giallognolo simile a quello dell'oro, la lamina si toglie da questa cassettina e si pone in una maniera di portafoglio, in cui non penetra luce.

4° La lamina così preparata ponsi nella camera oscura in luogo del vetro smerigliato, affinchè riceva l'immagine, e si fa stare per un certo numero di minuti, il quale varia secondo la qualità della lente, la stagione, l'ora del giorno, ec., ma si può agevolmente ritrovare.

5° Estratta la lamina dalla camera oscura entro lo stesso portafoglio inaccessibile alla luce, che era servito per introdurvela, si porta in un altro recipiente, nel cui fondo sta una coppa di ferro contenente circa un chilogrammo di mercurio, in cui è immerso un termometro ad asta sporgente. Quivi la lamina si pone inclinata a 45°. Con una lucerna ad alcool si scaldi il mercurio sino a 60°, e poi, spenta la lucerna, si aspetti che il termometro discenda a 40° cirra; in questo mentre vedi prima apparire alcune macchie, ed indi, come per incanto, scopri la copia più fedele dell'immagine, che prima avevi veduta sul vetro smerigliato.

6° Tolta la lamina da questo recipiente, si tuffa in una soluzione calda di sal marino o fredda d'iposolfito di soda, indi nell'acqua distillata alla temperatura di 50° in 60°. Sparisce così ogni traccia di giallo, e rimane un bel disegno a chiaroscuro, capace di reggere, senza patire la benchè minima alterazione, alla più intensa luce.

La scienza rimase da prima attonita e silenziosa innanzi a questo nuovo e maraviglioso spettacolo; ma poi il Dottor Donnè ed il Melloni particolarmente s'ingegnarono di rendere ragione di questo fenomeno. Riferirò la spiegazione del Donnè, e la modificazione che dopo il Melloni vi fece

Quel velo giallo che copre la lamina è ioduro di argento; or questo si scompone sotto l'azione della luce perdendo un poco di iodio, e però l'anzidetto velo giallo deve perdere più o meno la naturale consistenza, a seconda della intensità della luce che lo percuote. Siccome poi l'argento è avidissimo del mercurio, così i vapori andrannosi ad unire alla superficie dell'argento, rispettando i punti dove il ioduro non è scomposto, attacandosi in maggior copia dove più perfetta fu la scomposizione, e proporzionatamente meno ne' punti dove questa fu per la minore azione della luce anche meno operata. Così dove il mercurio traverserà il ioduro in maggiore abbondanza si avranno le tinte più chiare, dove ne perverrà meno si avranno le mezze tinte, e le ombre decise resteranno dove l'ioduro restò per mancanza di luce indecomposto. La immersione nell'iposolfito di soda poi serve a togliere il ioduro rimasto, e l'altra finalmente di acqua distillata giova a rimuovere ogni particella d'iposolfito, che resterebbe sulla lamina.

Il Melloni, avendo veduto che i vapori di mercurio non si uniscono all'argento, tanto nel caso in cui si espone a' medesimi la nuda superficie dell'argento, quanto nel caso in cui la lamina iodurata si faccia stare, prima di esporla agli anzidetti vapori, per molto tempo sotto l'azione della luce, fu giustamente indotto a modificare la spiegazione di Donnè. « Ciò posto, egli dice, ecco secondo ogni probabilità la successione de' fenomeni che si producono sulla lamina estratta dalla camera oscura ed » introdotta entro la cassettina a mercurio. Il vapore metallico viene a contatto dello strato di ioduro, e trova alcune parti *semi-decomposte* o tendenti alla separazione de' proprj elementi per l'azione precedente delle irradiazioni lucide. Ora la » decomposizione non può effettuarsi che in due » maniere, le quali danno per effetto, o un grado » minore di iodurazione dell'argento (sotto-ioduro), » o la precipitazione del metallo: nell'uno o nell'altro caso una porzione d'iodio tende a svilupparsi: e questa nozione basta allo scopo. Infatti » il mercurio trovandosi in presenza dell'iodio allo » stato nascente, vi si unirà formando un ioduro di » mercurio: la combinazione vi si propagherà in » breve da particella a particella, sinò al contatto » dell'argento, la cui affinità vincendo quella dell'iodio, scomporrà la nuova sostanza: il mercurio » si precipiterà sull'argento: l'iodio rimarrà libero, e verrà poscia rimosso dalla lamina, insieme al » sotto-ioduro o all'argento in polvere, mediante le » solite immersioni nell'iposolfito di soda e nell'acqua ». Sebbene io trovi alcuni dubbj intorno a queste due maniere di spiegazioni, pure li taccio per ora, non potendomi di più allargare in una nota.

Posteriormente usando il cloruro di iodio, l'acqua bromata, ec. e facendo gli obbiettivi doppi si è giunto a rendere brevissimo il tempo necessario all'azione della luce; e però è stato agevole di fare i ritratti a' quali vien data molta perfezione dal cloruro d'oro applicatovi sopra, siccome fece il Fizeau V. *Manuel complet de galvanoplastique et daguerrotipie. Paris* 1843.

svaporano, ec., basta spargere una goccia del liquido sopra una lamina di vetro a facce parallele, e ridurre questa sotto la luce del *focus*, col lato che contiene il liquido rivolto verso di questo. In parecchie altre congiunture l'obbietto deve esser semplicemente posto tra due lamine di vetro, e v'ha finalmente dei casi in cui è mestieri rinchiuderlo in recipiente di vetro pieno di liquido: e questo accade quando si voglia osservare la circolazione del sangue nella coda delle cazzuole, e negli estremi di qualche pesce, come del pari quando vogliasi osservare la circolazione dei globuli del *cara*.

Tutti questi obbietti, disposti come di sopra è detto, possono essere accomodati nel microscopio mercè un apposito meccanismo rappresentato nella figura 233: *p*, *p'* son lamine quadrate di rame congiunte coi quattro angoli, mercè fili dello stesso metallo; sopra ciascun filo sta avvolta a spira una molla che preme la terza lamina *q* verso la lamina *p'*; tra *q* e *p'* strisciano le lamine che portano gli obbietti. Questo sistema di lastre deve girare anche intorno al tubo *t*, affinchè l'oggetto possa prendere tutte le giaciture, senza smuoversi e senza far perder di vista la sua immagine.

Dopo che l'oggetto è stato così disposto e bene illuminato dal *focus*, è cosa facile di ottenerne un'immagine ingrandita; per la qual cosa si fa muovere la lente acromatica *l*, che è veramente la lente obbiettiva; questa lente è regolata da un'asta a denti accomodata al suo tubo, e da un rocchetto il cui bottone è in *b'*: si allontana dunque o si avvicina l'obbietto, fino a che abbia una immagine chiara e ben terminata sopra un gran quadro di tela bianca o di carta, posto alla distanza di 10, 15 o 20 piedi. Poichè l'immagine è reale, ne segue che l'obbietto si trova al di là del fuoco della lente *l*: egli è facile, mercè le nostre formole sulle lenti, il determinare il preciso sito dell'obbietto, conoscendosi la principal distanza focale della lente e la distanza del quadro, e così sarà facile anche d'inferirne l'ingrandimento; ma se vogliasi osservarlo con un metodo diretto, converrà fare un micrometro di vetro che abbia divisioni di conosciuta grandezza, e posto questo in luogo dell'obbietto, misurare l'ampiezza di questa divisione nell'immagine dipinta sulla tela.

Gli stessi principî regolano la *lanterna magica*: se non che quegli obbietti grotteschi che d'ordinario si osservan con essa, son dipinti a colori sul vetro; essi sono alquanto grandi, e vengon rischiarati dalla luce di una lucerna, per il che possonsi solo ingrandire per 15 in 20 volte.

409. *Megascopio.* — Questo strumento è ordinato a dar copia più picciola o più grande di una incisione, di un quadro, di un bassorilievo che non sia molto grande. Esso fu ideato da Charles verso il 1780; e da quel tempo sonosene fatte parecchie utili applicazioni alle arti. Il *megascopio* non differisce dal microscopio solare, se non per la natura degli obbietti di cui da le immagini, e per lo modo onde quelli vengono illuminati. Per la qual cosa esso in ultimo risultamento riducesi ad una sola lente acromatica *l* (*fig.* 234), innanzi alla quale ponsi l'obbietto *b* di cui si vuole avere l'immagine o ritrarre la copia.

Ma ecco le principali condizioni cui è mestieri soddisfare per avere nello stesso tempo immagini perfettamente terminate e per variarne l'ingrandimento.

1°. La lente *l* deve avere 8 in 10 centimetri di diametro, affinchè possa abbracciare un campo molto esteso e dar chiarezza all'immagine; essa deve esser chiusa in un tubo alquanto lungo, acconcio ad arrestar la luce delle nubi e le riflessioni laterali, per lo che si può anche porre nel tubo un apposito diaframma; finalmente in vece di una sola lente se ne posson metter più, a piccola distanza l'una dall'altra, per dare maggior convergenza ai raggi incidenti.

2°. Innanzi al buco cui si aggiusta il tubo che porta la lente, trovansi fermate allo stesso livello due verghe orizzontali di ferro, le quali sostengono una maniera di carro *c* che scorre mercè di rotelline, e la tavola verticale *v* di questo è ordinata a ricevere gli obbietti; una doppia corda i cui estremi vanno nella camera oscura è legata al carro, e serve a farlo andare innanzi o indietro, per avvicinare o allontanare l'obbietto *v*; finalmente due o più specchi piani di vetro amalgamato sono ordinati innanzi all'imposta per rifletter sull'obbietto l'immagine del sole e proiettare le ombre per un verso o per l'altro: quando l'esperienza si fa sopra dei bassirilievi, gli specchi possono esser fermati al carro, affinchè si possano muovere con esso.

3°. Il piano sul quale si ricevono le immagini può essere di carta o di mussolino, siccome nel microscopio solare; allora si osserva dalla parte di avanti: intanto gli effetti della luce, donde nascono i rilievi, riescono più spiccati, quando le immagini si ricevono sopra una grande lastra di vetro lievemente smerigliata; chi osserva allora ponsi dalla parte di dietro, e le immagini possono essere copiate con molta facilità.

410. *Microscopio composto.* — *Principj del-*

la struttura del microscopio composto.—Il microscopio composto è ordinato, come il semplice, a render aperta la forma, la struttura, e tutt' i particolari dei piccolissimi obbietti. Esso chiamasi microscopio *diottrico*, *catottrico* o *catadiottrico*, secondo che gl' ingrandimenti si generano per rifrazione, per riflessione, o per riflessione e rifrazione insieme. Noi diremo qui più particolarmente del microscopio diottrico, perciocchè esso è ad un tempo più utile e più generale.

Tutte le diverse disposizioni che sonosi successivamente date a questo strumento si adagiano sopra i due seguenti principj:

1° Gli obbietti che si vogliono sottoporre all' esperienza van messi innanzi ad una lente convergente *b*, poco più in là della principal distanza focale (*fig.* 235). Questa lente semplice o composta, acromatica o non acromatica, è quella che chiamasi *lente obbiettiva*, o semplicemente l' *obbiettivo del microscopio*.

2° Le immagini reali ed ingrandite che si hanno ad una distanza più o meno grande dietro l'obbiettivo, son guardate mercè una lente convergente *c*, che fa le veci di microscopio semplice. Questa seconda lente, che può essere del pari semplice o composta, acromatica o non acromatica, è quella che chiamasi *lente oculare*, o semplicemente l'*oculare del microscopio*.

Per la qual cosa ogni microscopio diottrico è necessariamente composto di un obbiettivo e di un oculare, e l'ingrandimento totale è il prodotto degl' ingrandimenti di ciascuna di queste lenti o sistemi di lenti. Se l'obbiettivo, per esempio, ingrandisce per 5 volte il diametro e l'oculare per 10, l'ingrandimento totale sarà di 50 volte il diametro, e però di 2500 volte la superficie: esso sarebbe di 1000 volte il diametro e di 1000000 di volte la superficie, se l'ingrandimenti dell'obbiettivo e dell'oculare fossero rispettivamente 100 e 10, oppure 50 e 20, o 40 e 25, ec.

Ponendo mente a' principj fondamentali del microscopio, sarà facile il calcolarne nello stesso tempo le dimensioni e gli effetti: supponghiamo per esempio che l'obbietto abbia 5 millimetri di distanza focale principale e l'oculare 20: l' oggetto essendo posto ad $\frac{1}{10}$ di millimetro al di là del fuoco, la sua immagine reale si formerà alla distanza di 255 millimetri e l'ingrandimento dell'oculare sarà di 40; per un oggetto di $\frac{1}{10}$ di millimetro di diametro dunque l' immagine avrebbe 4 millimetri di ampiezza. Indi per guardare questa immagine con l' oculare sarebbe mestieri di porre questo innanzi all' immagine, alla distanza di 18^{mm}, 62 (supponendo la vista media di 10 pollici ossia di 270 millimetri), e si avrebbe anche un ingrandimento di 14,5; il che darebbe un ingrandimento totale di $40 \times 14,5 = 580$: lo strumento in questo caso dovrebbe avere una lunghezza di 255 + 18°. 62 = 273^{mm}, 62.

Con lo stesso oggettivo e con lo stesso oculare potrebbonsi avere maggiori o minori ingrandimenti, ponendo l' oggetto più o meno lontano dall' oggettivo; ma sarebbe mestieri in questo caso far che lo strumento si potesse accorciare o allungare, che si potesse cioè scemare o accrescere la distanza tra le due lenti, imperocchè l' immagine reale ridurrebbesi più vicina all' obbiettivo oppure si allontanerebbe dal medesimo.

Lo strumento di cui esponiamo la teorica è il microscopio diottrico nella sua semplicità, o forse meglio nella sua imperfezione, tal quale uscì dalle mani de' suoi primi inventori: ma molti cambiamenti sonovisi arrecati dappoi. Il professore Amici di Modena è giunto per via di fortunate ricerche a dargli finalmente, son già pochi anni, un tal grado di perfezione, che riman poco a desiderare; e Carlo Chevalier, facendo tesoro de' trovati di Amici, ha variato opportunamente le parti dello strumento per renderlo acconcio ad ogni maniera di osservazioni. Descriveremo dunque in preferenza il microscopio di Carlo Chevalier.

411. *Il microscopio composto* è rappresentato per la quarta parte della sua vera grandezza nella figura 236. L' obbiettivo è in *b*, l'oculare in *c*; il fascio di luce per lo quale si vede l'oggetto ascende da prima verticalmente, ma, mercè una riflessione totale sulla ipotenusa del prisma *r*, questo fascio è menato orizzontalmente verso l'oculare, il che permette all'osservatore di prendere una più comoda situazione, tanto per variare o prolungare le sue sperienze, quanto per disegnare le immagini che vede.

Ecco intanto la disposizione ed il meccanismo delle varie parti dello strumento.

1° *Obbiettivo*.— L' obbiettivo è un composto di una, due o tre lenti acromatiche, le cui principali distanze focali sono di 8 in 10 millimetri, segnate co' numeri 1, 2, 3: si può adoperare la sola lente n° 1; o questa e l' altra n° 2, badando d' invitare la prima sul tubo e la seconda sulla prima; ovvero le lenti n° 1, n° 2 e n° 3, facendo serbare alle medesime il loro ordine, invitando quella di n° 3 sull' altra di n° 2. Nel primo caso si ha il minimo in-

grandimento, e l'oggetto trovasi alla maggior distanza dall'oggettivo; maggiore è l'ingrandimento nel secondo caso, e la distanza è minore; nel terzo finalmente l'ingrandimento è anche di più, e la distanza dell' oggettivo è picciolissima.

2° *Oculare.* — Per ciascuna combinazione dell'obbiettivo si può adattare allo strumento uno de'sei oculari segnati co'numeri 1, 2, 3, 4, 5 e 6. I primi quattro son formati con lo stesso principio, e compostí di due lenti pianoconvesse, la cui convessità è rivolta verso l'immagine: tra queste lenti, e precisamente dove si genera l' immagine reale dell' oggetto, va messo un diaframma, la cui apertura è opportunamente determinata; in quest'apertura ordinariamente si pongono de' fili finissimi che servono di micrometro. Gli oculari n° 5 e 6 sono semplici lenti d'ingrandimento di cortissimo fuoco.

3° *Disposizione ed illuminazione degli obbietti trasparenti.* — Gli obbietti trasparenti debbono esser collocati sempre tra due lamine di vetro, e si bagnano con una goccia di acqua pura, affinchè restino perfettamente da questo liquido circondati. Queste lamine tengonsi generalmente da se stesse ad una tal distanza da non alterare l' oggetto. Se talvolta accade che l'oggetto debbasi osservare posto a secco sopra una lamina trasparente, esso si vedrà anche con lo stesso ingrandimento, ma se ne avrà un'immagine meno chiara e meno distinta. Le lamine si pongono sull'apertura e del porta oggetti, ed il pezzo *d*, che s' innalza o si abbassa a strofinio, è ordinato a tenerle ed a stringerle.

Lo specchio concavo *m* raccoglie la luce delle nubi o di una fiamma per concentrarla sull'obbietto. Il diaframma mobile *f* serve a moderare lo splendore della luce: si volge più o meno per ridurre sotto l'obblettivo quel foro che meglio all' esperienza si conviene: generalmente i corpi molto sottili e trasparenti richieggono una luce meno viva. Al disotto del diaframma trovasi anche un vetro smerigliato che si volge in guisa da ricevere il fascio, quando si vuole adoperare la luce solare o quella di una vivissima fiamma.

L' obbietto finalmente è ridotto presso al fuoco mercè il rocchetto, il cui bottone è in *p*, e la vite micrometica è ordinata a condurlo perfettamente al suo posto.

4° *Disposizione ed illuminazione de' corpi opachi.* — I corpi opachi vanno messi sopra un picciolissimo disco di vetro nero, incollato sopra una lamina trasparente, ed indi situati sul porta-oggetti : per illuminarli si può fare uso di una lente o di uno specchio o anche dell'uno e dell'altro.

5° *Maniera di percorrere il campo.* — Vi sono a tal uopo due viti micrometriche *k* e *q*: la prima è ordinata a menare innanzi o indietro il carro del porta-oggetti, con tutto ciò che gli è unito, la seconda a farlo muovere lateralmente verso la destra o verso la sinistra. Mercè questi due moti combinati insieme si percorre tutta l'ampiezza dell' oggetto per un verso e per l'altro senza mai perdere di vista la sua immagine.

6° *Ingrandimento.* — Uno de' migliori modi per determinare la forza amplificante del microscopio, è quello di fare uso di una camera lucida che si adatta all'oculare che si adopera, affine di vedere un micrometro di vetro posto come oggetto innanzi alla lente, ed una riga divisa, posta nella verticale dell'oculare ad una conveniente distanza: l' immagine del micrometro ingrandita è proiettata sulla riga; e si può agevolmente vedere il numero delle divisioni che vi occupa. In questo microscopio le combinazioni di oculari e di oggettivi che non danno un ingrandimento maggiore di 500 volte il diametro, generano immagini nettissime. Le combinazioni poi per le quali si ha un ingrandimento di 1000, 2000, 3000, e 4000 volte generano immagini alquanto confuse.

L'ingrandimento o piuttosto la grandezza reale degli obbietti misurasi mercè le viti micrometriche *k* e *q*, delle quali di sopra è detto: queste viti sono a picciolissimi passi antecedentemente calcolati; oltre a ciò le loro teste sono divise in modo che basta vedere per quanti giri o frazioni di giro si dee volgere per far che l'obbietto passi da una parte all' altra del filo micrometrico dell' oculare, la cui disposizione fu testè indicata.

Questo microscopio può esser posto verticalmente. E per far questo basterà togliere il prisma, porre le lenti in continuazione del tubo e farlo girare intorno al ginocchio *z*; si può mercè il secondo ginocchio *z'* ridurre verticale il pezzo *zz'*, disporre il tubo orizzontale ed osservare sul porta-oggetti, che allora è verticale. Lo strumento infine riceve con la maggior facilità la disposizione conveniente alle operazioni chimiche; e però si volge il pezzo *br* che sta congiunto al tubo col meccanismo delle baionette, e se gli fa prendere la giacitura indicata nella figura 237; sul porta oggetti si accomoda un piccol vetro da oriuolo, contenente quella soluzione che si vuole osservare; uno specchio *m'* è ordinato per la illuminazione.

La figura 238 rappresenta il microscopio

catadiottrico, la cui teorica è indicata nella figura 239. L' obbietto sta in v'; un piccolo specchio piano m' manda i raggi sul grande specchio metallico concavo m, donde essi vanno a formare un'immagine reale che osservasi con le solite lenti oculari.

412. *Determinazione degl'indici di rifrazione dei liquidi e de' corpi molli traslucidi giovandosi del microscopio.* — Supponghiamo che con due diverse materie, i cui indici di rifrazione siano n ed n', si sian fatti de'menischi piano-concavi dello stesso raggio r: si sa che le distanze focali principali f ed f' di questi menischi saranno

$$f=\frac{r}{n-1}, f'=\frac{r}{n'-1}, \text{ d'onde } n'=1+(n-1)\frac{f}{f'},$$

il che darebbe n' per mezzo di n, se si conoscesse la ragione $\frac{f}{f'}$.

Per fabbricare menischi di varie materie tutti piano-concavi e dello stesso raggio di curvatura, basterà porre un pezzetto di tali materie sopra un vetro piano a facce parallele, ed indi con una lente convessa premer fino a che il vertice di essa non giunga quasi a toccare la superficie del piano.

Or se per fare questa esperienza prendasi la lente obbiettiva di un microscopio, ed indi si rimetta nello strumento per fare tre osservazioni successive sopra un qualunque obbietto, la prima con la lente, sola ed isolata, la seconda con la stessa lente ed un menisco d'acqua, e la terza con la stessa lente, ma con un menisco di una materia qualunque, come per esempio cera, si potrà agevolmente di quest'ultima materia determinare l'indice di rifrazione. E per fermo, siano b, b', b'' le distanze dall'obbiettivo all'obbietto nelle tre osservazioni; siano φ, φ' e φ'' le distanze focali principali della lente obbiettiva sola, di questa col menisco d'acqua, e della stessa col menisco di cera; sia finalmente m la distanza alla quale si genera l'immagine dietro l'oggettivo, distanza che in tutti e tre i casi rimane la stessa, si avrà per la prima e per la seconda osservazione, come è chiaro:

$$\frac{1}{m}=\frac{1}{\varphi}+\frac{1}{b}, \quad \frac{1}{m}=\frac{1}{\varphi'}+\frac{1}{b'};$$

ma φ' essendo la principal distanza focale del sistema composto dalla lente e dal menisco d' acqua, egli è chiaro che se si ponesse un punto luminoso ad una distanza q' innanzi al solo menisco d'acqua, il punto luminoso formerebbe la sua immagine ad una distanza φ; e poichè abbiam supposto essere f la principal distanza focale del solo menisco di acqua, si avrà:

$$\frac{1}{\varphi}=\frac{1}{f}+\frac{1}{\varphi'}.$$

Questa equazione combinata con le due antecedenti dà:

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{b'}-\frac{1}{b}.$$

La prima e la terza osservazione combinate nello stesso modo daranno similmente:

$$\frac{1}{f'}=\frac{1}{b''}-\frac{1}{b};$$

onde si ricaverà la cercata ragione di $\frac{f}{f'}$.

413. *Telescopi.* — La parte essenziale di tutt'i telescopi è un grande specchio concavo di metallo, il quale è rivolto verso l'obbietto, e dà, per la legge della quale di sopra è detto, un' immagine reale e rovesciata. Ma siccome questa immagine si può in diversi modi osservare, così ne derivano varie maniere d'istrumenti delle quali ci faremo a discorrere.

Telescopio di Gregory. — Il grande specchio concavo mm' (*fig.* 240) ha nel centro un foro circolare cc'. I raggi incidenti ll' vanno a formare in ii' un'immagine dell'obbietto rovesciata e reale; questa cade innanzi al piccolo specchio concavo v ad una distanza alquanto maggiore della metà del raggio; allora essa fa le veci di oggetto, e fa nascere una seconda immagine dritta, la quale è diretta nel foro oc'; quivi è ricevuta da un oculare che la rende più grande, e l'occhio la vede in o: una lunga vite ss', il cui bottone è in b, è ordinata ad allontanare o ad avvicinare lo specchio v, secondo che più vicino o più lontano trovisi l'oggetto.

Telescopio di Cassegrain. — Cassegrain sostituì un piccolo specchio convesso x (*fig.* 241) al piccolo concavo del Gregory: e questo piccolo specchio convesso deve ricevere i raggi prima che formino l'immagine reale; allora i raggi sono soltanto riflessi, ma la loro convergenza è scemata e l' immagine reale rovesciata si forma nello stesso luogo della seconda immagine del telescopio di Gregory; quivi è ricevuta dall'oculare e l'occhio l'osserva come nel caso antecedente.

Telescopio di Newton. — Newton in vece di un piccolo specchio concavo o convesso ne adoperava un piano p (*fig.* 242) che riceveva i raggi sotto un'inclinazione di 45° per

proiettare lateralmente l'immagine reale sopra un oculare simile agli antecedenti.

CANNOCCHIALI.

Ogni cannocchiale è composto di un obbiettivo e di un oculare. L'obbiettivo è ordinato a ricevere la luce degli obbietti, e concentrarla per formare nel suo fuoco immagini reali rovesciate, simili perfettamente a quelle che si pingono nel fondo della camera oscura; per la qual cosa l'obbiettivo deve essere acromatico, se vogliousi immagini terminate e senza colori, e però deve per lo meno esser composto di due materie diversamente dispersive, l'una lavorata a lente convergente e l'altra a lente divergente. Ne' cannocchiali ordinarj queste due lenti sono unite; ma ne' *dialitici* tra l'una e l'altra passa un certo intervallo che permette di fare la seconda molto più piccola della prima. Assai più varia dell'obbiettivo è la composizione dell'oculare: esso riducesi ad *una sola lente divergente* nel cannocchiale di Galilei, ossia cannocchiale da teatro: è composto di *una o due lenti convergenti* ne' cannocchiali astronomici; e finalmente *di quattro lenti convergenti* nel cannocchiale terrestre.

In ogni cannocchiale il sito dell'oculare per rispetto all'oggettivo si determina partendo dal principio, che i raggi di un medesimo fascio, quelli cioè che partono da uno stesso punto dell'obbietto, debbono essere sensibilmente paralleli, quando escono dall'oculare. Questo non è rigorosamente vero, imperciocchè la visione distinta non accade se non quando i raggi sono più o meno divergenti, secondo che l'occhio è miope o presbite; ma è così prossimo al vero, che basta per dare un'assai giusta idea de' fenomeni.

414. *Cannocchiale di Galilei, ossia da teatro.* — Sia a il sito dell'obbiettivo (*fig.* 243) ed f la sua principal distanza focale: se non vi fosse l'oculare, un obbietto molto lontano farebbe la sua immagine in tt', ad una distanza f dietro la lente obbiettiva; questa immagine sarebbe rovesciata e dal centro ottico a sarebbe veduta sotto lo stesso angolo con cui vedesi l'oggetto. Trattasi ora di porre un oculare divergente a' che abbia una principal distanza focale f tale, che i raggi di un medesimo fascio si trovin tra loro paralleli uscendo per a'. Or non si può a questa condizione soddisfare, se non ponendo siffatta lente oculare ad una distanza $f - f'$ dall'obbiettiva, imperocchè allora i raggi che riceve, andando a convergere in tt' ossia al fuoco principale dell'oculare, saranno renduti paralleli dalla divergenza di questa. Laonde nel cannocchiale di Galilei la distanza tra le due lenti è uguale alla differenza delle loro principali distanze focali.

Donde segue: 1° che l'oculare raddrizza l'immagine; 2° che l'ingrandimento è uguale ad $\frac{f}{f'}$. E per fermo, i raggi che andavano ad unirsi al punto t diventano tra loro paralleli, e la comune direzione del medesimi è quella della linea ta', tirata dal punto t al centro ottico a' dell'oculare; similmente quelli che andavano ad unirsi in t' escono paralleli all'asse secondario ta'; è però l'immagine rovescia tt' trovasi raddrizzata, imperciocchè il punto t, che era dalla parte di sopra, trovasi di sotto in n sulla direzione di t in a', e per contro il punto t' è veduto in n' sulla direzione di t' in a'. Per avere l'ingrandimento basterà por mente che la parte tp dell'immagine sarebbe stata veduta dal centro dell'oggettivo sotto lo stesso angolo tap della corrispondente porzione dell'oggetto, nell'atto che, in grazia dell'oculare, essa è veduta sotto l'angolo $ta'p$. Laonde l'ingrandimento è

$$\frac{ta'p}{tap} = \frac{\text{tang}\, ta'p}{\text{tang}\, tap} = \frac{f}{f'},$$

potendosi porre le tangenti in vece degli angoli, e prendere i valori delle tangenti ne' triangoli rettangoli tap e $ta'p$.

Il campo di questi cannocchiali non può oltrepassare i 5 o 6 gradi. La chiarezza, siccome ognun vede, dipende dal diametro dell'oggettivo e dall'ingrandimento.

415. *Cannocchiali astronomici.* — Ne' cannocchiali astronomici l'immagine si genera realmente nel fuoco dell'obbiettivo, e l'oculare fa da microscopio per ingrandire questa immagine. Sia f la principal distanza focale dell'obbiettivo, e tt' (*fig.* 244) l'immagine reale rovesciata di un lontanissimo oggetto: l'oculare a' avendo una distanza focale f', e dovendo esser regolato in modo che i raggi di uno stesso fascio n' escano paralleli, s'intende che esso debba esser posto ad una distanza f' dietro l'immagine tt', e però ad una distanza $f + f'$ dietro l'obbiettivo.

Donde segue 1°. che l'immagine resta rovesciata; 2°. che l'ingrandimento è espresso da $\frac{f}{f'}$. E per fermo, i raggi che han formata l'immagine al punto t son rifratti dall'oculare in modo da emergere paralleli all'asse se-

condario ta': l'occhio dunque che li riceve nell' uscir che fanno dall'oculare vede il punto t sul prolungamento $a't$ verso n; similmente t' è veduto verso n' sul prolungamento di $a't'$. Laonde l' immagine virtuale è veduta per lo stesso verso della reale, e trovasi per conseguenza, come questa, rovesciata rispettivamente all' oggetto. Per conoscere l' ingrandimento basterà tener presente che la parte tp dell' immagine reale è veduta mercè l' oculare sotto l' angolo $ta'p$, nell' atto che dal centro dell' obbiettivo sarebbe veduta come la corrispondente porzione dell' oggetto sotto l' angolo tap. L' ingrandimento perciò è

$$\frac{ta'p}{tap} = \frac{\text{tang}\ ta'p}{\text{tang}\ tap} = \frac{f}{f'}.$$

Generalmente i buoni oculari de' cannocchiali astronomici non sono semplici, così come li abbiamo supposti, ma sono composti di due lenti piano-convesse aventi le convessità rivolte dalla parte dell' obbiettivo. La distanza focale della prima che sta verso l' occhio essendo f'', quella della seconda è $3f''$, e $2f''$ la distanza che passa tra esse; dal che intendesi facilmente che la lente unica atta a produrre gli stessi effetti dovrebbe avere per principal distanza focale $f' = \frac{3f''}{2}$, in modo che l' ingrandimento è $\frac{2f}{3f''}$.

Il valore di f'' ne' più forti oculari e di $\frac{1}{2}$ di linea, e di 6 linee ne' più dolci; l'apertura del diaframma che separa le due lenti è varia; essa è di $\frac{3}{5}$ di linea nel primo caso, e di 3 linee nel secondo. Quest'oculare ideato da Huyghens è espresso dalla figura 245; esso chiamasi talvolta *oculare negativo*; imperocchè l' immagine reale dell' oggettivo si va a formare nell' apertura del diaframma d che separa le due lenti dell' oculare; e quivi ponsi il *micrometro* o la reticella di finissimi fili, ordinata a misurare le distanze de' varj punti dell' immagine e la durata de' passaggi degli astri.

Alcune volte si adopera l' oculare di Ramsden, detto *positivo* perchè l' immagine è formata al di fuori: quest' oculare è parimenti composto di due lenti piano-convesse; ma queste hanno quasi la stessa forza, e l' intervallo che passa tra esse è minore della principal distanza focale di ciascuna.

Il campo del cannocchiale deriva dall' oculare, ma la sua chiarezza per eguali ingrandimenti dipende dal diametro dell' obbiettivo. Con obbiettivi di 11 in 12 pollici, come quelli lavorati in Francia in quest' ultimi anni da Lerebours e da Cauchoix, possonsi avere ingrandimenti da 600 fino a 900 volte.

416. *Cannocchiali terrestri.* — Per osservare gli obbietti sulla terra è mestieri che le immagini non sian rovesciate, e però si raddrizzano facendo l'oculare composto di 4 lenti convergenti appositamente ordinate (*fig.* 246). La terza e la quarta hanno rivolta la faccia piana verso l' obbietto: la prima immagine si genera allora fuori dell'oculare in tt': ma senza ricevere un sensibil cambiamento di grandezza essa trovasi rovesciata di nuovo in rr' per effetto delle lenti n. 2, 3 e 4. I raggi seguendo il cammino indicato sulla figura, si dovrà trovare in d', nel punto d'incrocicchiamento, un secondo diaframma di un' apertura determinata che arresti i raggi degli orli dell'immagine, le cui aberrazioni di sfericità e di rifrangibilità non potrebbero essere dalle lenti corrette.

417. *Misura dell' ingrandimento.* — Gl'ingrandimenti del cannocchiale di Galileo e dell' astronomico possono, siccome si è veduto, ricavarsi dalla conoscenza delle distanze focali principali delle lenti, onde cotesti strumenti sono composti; ma poichè queste distanze focali sono anche soggette ad alcune incertezze, a cagione della grossezza delle lenti, perciò si è procurato di adoperare altri metodi diretti per venire in conoscenza degl' ingrandimenti. Alcuni di questi metodi sono semplicissimi; ed io qui mi restringerò ad indicarne uno nuovo, di cui sonomi giovato da più anni, e che sembrami nello stesso tempo molto facile e molto giusto. Pongo alla distanza di 50 in 60 metri una riga sulla quale sonovi delle divisioni bianche e nere, alle quali dirigo il cannocchiale; innanzi all'oculare è adattato obbliquamente, a 45° per esempio, un piccolo specchio metallico m, forato con un buco di 2 millimetri (*fig.* 247); a fianco a questo trovasi un secondo specchio m' parallelo al primo; allora per lo buco dello specchio m si vede col cannocchiale l'immagine della riga ingrandita; si vede poi per riflessione sullo specchio m' e sugli orli del buco dello specchio m la sua immagine naturale. Rimane solo a far coincidere queste immagini, ed a vedere ogni divisione dell' immagine ingrandita quante ne covre delle naturali: e questo numero, che si vede con molta facilità, è l' ingrandimento del cannocchiale.

CAPO VI.

DELLE INTERFERENZE E DELLA DIFRAZIONE.

418. *Ipotesi intorno alla natura della luce.* — Abbiam potuto esporre le leggi naturali della riflessione, della rifrazione e della decomposizione della luce, attenendoci solo all' esperienza, senza aver avuto bisogno per farle intendere di far ricorso ad alcuna considerazione teorica sulla natura della luce o alla sua maniera di essere. Questo metodo del tutto sperimentale non si può con la stessa semplicità applicare ai fenomeni di diffrazione, i quali rendono aperte alcune proprietà della luce interamente nuove, e così strettamente connesse con la teorica, che sarebbe impossibile di esporle in modo chiaro e preciso, senz'avere una idea generale di quella maniera di moto che forma la luce. Cominceremo dunque dal ricordare in poche parole le due ipotesi cui, in ogni tempo, sonosi i fisici appigliati, *l'ipotesi* cioè *dell'emissione*, e l'altra *delle vibrazioni* o *delle ondulazioni*.

Nella dottrina dell'emissione si suppone che la luce si propaghi per un moto di *trasferimento* o di *traslazione*, cioè che le molecole di luce ricevano da'corpi luminosi un impulso che le mena per ogni verso, come accadrebbe a piccoli proiettili spinti con prodigiosa velocità. Per la qual cosa quando noi guardiamo il sole, le molecole che ci colpiscono sarebbero, secondo questa dottrina, uscite dall' intima sostanza dell' astro 8′ 13″ prima, ed avrebber percorso in questo tempo 40 milioni di leghe. Queste molecole avrebbero una materiale esistenza indipendente dal lor moto; ma la massa infinitamente piccola delle medesime non sarebbe soggetta all'azione della gravità, essa sarebbe una materia diversa da quella pesante. La diversità de' colori risulterebbe da quella della velocità; la riflessione sarebbe simile a quella de'corpi elastici; la rifrazione farebbe supporre 1° che i mezzi diafani abbian fra le loro molecole ponderabili degl'interstizj, pei quali le molecole luminose possano agevolmente passare, 2° che le molecole ponderabili abbiano una forza attrattiva la quale, componendosi con le velocità acquistate, genera quei deviamenti che noi osserviamo.

La dottrina delle vibrazioni o delle ondulazioni suppone al contrario che la luce si propaghi per un moto di vibrazione, il quale velocemente diffondesi di falda in falda in una materia imponderabile, cui si è dato il nome di *etere*. Laonde in questa ipotesi la luce somiglia il suono, almeno nel senso che il suono, è un moto di vibrazione nell' aria, o in generale nella materia ponderabile; nell'atto che la luce è un moto di vibrazione nella sostanza eterea. Ovunque propagasi il suono, ivi è materia; ovunque propagasi la luce, ivi è etere. L' etere dunque riempie lo spazio, imperocchè non vi ha luogo ove non penetri la luce: essa trovasi tra il sole e la terra, tra i corpi del nostro sistema planetario o nell' indefinito spazio che ci separa dalle più remote stelle, giacchè non v' ha punto in questa immensa estensione per cui continuamente non passi un infinito numero di raggi luminosi; nè l'etere è sparso solo nel vuoto spazio de'cieli, ma entra dovunque, ed empie tutti i pori della materia ponderabile. Se l' etere non si trovasse in tutta l' atmosfera, la luce degli astri non giungerebbe a noi; se non si trovasse nell'acqua, nel vetro, nel diamante ed in tutti i corpi diafani, questi non trasmetterebbero le onde lucide; se finalmente non si trovasse anche negl' intervalli che separano gli atomi del nostro corpo, la luce non potrebbe esser sentita, le ondulazioni non passerebbero negli umori dell' occhio, e fin nelle fibre nervose della retina ch' è l'ultimo termine ove la ragione può accompagnarla. Gli stessi corpi opachi son pieni di etere, imperocchè essi giunti ad una sufficiente sottigliezza diventano trasparenti.

Laonde la dottrina delle ondulazioni ci conduce a supporre l' esistenza d' una materia o d' una sostanza, in seno alla quale si trovan disseminati i diversi pezzi di materia ponderabile che formano i pianeti e gli astri.

Intanto quantunque l'etere sia da per tutto, pure non è per tutto lo stesso. Egli è probabile che nel vuoto degli spazj celesti, del pari che nel vuoto artificiale delle nostre macchine, non siavi alcuna differenza nella distribuzione di questa sostanza, e però nessuna differenza nel cammino della luce. Ma entro i corpi la luce diversamente si muove; le ondulazioni cambian di velocità e di lunghezza, e quindi l'etere prende elasticità diverse. Anche per le sperienze di polarità ci verrà fatto di notare che nella maggior parte de' corpi cristallizzati l'elasticità dell' etere non è la stessa per ogni verso.

Se l'etere in tutta la sua immensa estensione fosse in una perfetta quiete, tutto il mondo sarebbe nelle tenebre: ma scosso in un punto, tosto la luce si mostra e si spande indefinitamente da per tutto: così in un'atmosfera perfettamente tranquilla il semplice vibrar d' una corda fa nascere un suono che intorno si spande, secondo determinate leggi. La luce dunque ch' è moto non si deu confondere con la sos-

tanza dell'etere nel quale questo moto si compie, siccome il moto di vibrazione onde generasi il suono non deesi confondere con l'aria, o generalmente con la materia ponderabile, nella quale le vibrazioni si eseguono.

Parlando delle onde sonore noi abbiam tenuto per fermo, che il moto delle molecole accade per le direzioni de'raggi sonori, cioè che esse si allontanano e si avvicinano alternativamente al centro di vibrazione; ma noi dobbiamo qui considerare il moto di vibrazione in modo più generale, e ritenere che il moto delle molecole o delle porzioni dell'etere accada perpendicolarmente ai raggi e nella direzione de' medesimi: così quando si accende una lampada nelle tenebre, la luce in brevissimo tempo si propaga secondo la linea che va dalla lampada all'occhio; ma niente impedisce che il moto di vibrazione, comunicato dalla combustione all'etere circostante, non si esegua perpendicolarmente a questa linea ed in qualsivoglia piano. Sotto questo aspetto generalissimo noi farem la disamina de' fenomeni secondo la dottrina delle ondulazioni, riserbandoci di ricercare s'è possibile de' segni distintivi per conoscere per qual verso le vibrazioni veramente accadono.

419. *Sperienze di Fresnel sulle frange generate dall' incontro di raggi riflessi.* — Due specchi metallici piani son disposti verticalmente l'uno accanto all'altro (presso a poco come due pagine di un libro aperto) in modo che faccian tra loro un angolo molto ottuso (la figura 259 rappresenta un taglio orizzontale degli specchi e del fascio di luce che serve all' esperienze). Innanzi a questi specchi una lente cilindrica a di corto fuoco concentra in f un fascio di luce omogenea, il quale dopo va a cadere in parte sullo specchio m ed in parte sull'altro m'; i raggi, dopo essersi riflessi lungi dall' intersezione degli specchi e lungi dai loro orli, vanno a riunirsi nello spazio, ed ivi formano delle frange, cioè delle piccole strisce alternativamente oscure e brillanti, le quali possonsi osservare con una lente o con un microscopio di cui daremo appresso la descrizione.

Queste frange presentano le seguenti qualità:

1°. Esse sono parallele alla comune sezione degli specchi;

2°. Sono simmetriche dall'una e dall'altra parte del piano lcl', il quale passa per questa comune sezione e per lo mezzo della linea pp' che unisce le immagini del punto f sopra ciascuno degli specchi; la frangia centrale che sta sopra questo piano è sempre una frangia brillante;

3°. Gli assi di ciascuna di esse trovansi sopra iperboli, i cui fuochi sono in p e p' ed il comune centro è in l;

4°. Se uno degli specchi si copra, o si arresti la luce con un piano che cade sulla superficie di esso, tutte le frange spariranno;

5°. Se il fascio riflesso da uno degli specchi attraversi una lamina trasparente a facce parallele, tanto prima quanto dopo della riflessione, tutte le frange saranno mosse verso la destra o verso la sinistra; quando ciascun fascio attraversa una lamina della stessa sostanza, lo spostamento accade non più in ragione delle assolute grossezze delle lamine, ma in ragione delle differenze in grossezze.

È questa una delle più importanti sperienze dell'ottica, imperocchè essa dimostra in modo evidentissimo questa fondamentale verità, cioè che in certe date congiunture *luce unita a luce fa tenebre*. E per fermo egli è chiaro, per esempio, che la prima frangia oscura, che sta accanto alla frange brillante centrale, riceve, come questa, la luce da entrambi gli specchi, e che dalla concorrenza di questa doppia luce nascon le tenebre, imperocchè questa striscia diventa più chiara coprendo uno degli specchi. Fu Grimaldi il primo a rendere aperta questa azione scambievole dei due raggi di luce (*Physica-mathesis de lumine, coloribus et iride*, Bologna 1665, Prop. 22 p. 187); più tardi fu dal dottor Young in altro modo nuovamente dimostrata, donde questi ricavò il principio generale delle *interferenze*, il quale esprime nello stesso tempo quest'azione scambievole e le congiunture nelle quali essa si esercita. La voce *interferenza*, da Young introdotta nella scienza, significa generalmente la mutua azione che due raggi di luce esercitano tra loro.

420. *Principio delle interferenze.* — Questo principio generale può nel seguente modo essere enunciato:

Due raggi omogenei, emanati dalla stessa sorgente, uniscono il loro splendore quando s'incontrano sotto piccola obbliquità, dopo di aver percorso sentieri la cui differenza è 0; $\frac{2d}{2}, \frac{4d}{2}, \frac{6d}{2}$, cioè un numero pari di metà di d; e per contro si neutralizzano e generano oscurità, se incontransi dopo di aver percorsi sentieri la cui differenza sia $\frac{d}{2}, \frac{3d}{2}, \frac{5d}{2}$, ec.; cioè un numero dispari di metà di d.

Il valore di d è un numero che varia secondo i colori ed anche secondo le tinte dello spettro.

Ecco la tavola dei valori di *d*, determinati da Fresnel con la maggiore precisione possibile, siccome di corto vedremo.

Tavola de' valori di d che determinano i periodi di addizione o di distruzione della luce.

Limiti de' colori principali	Valori estremi di *d* in milionesimi di millemetro	Colori Principali	Valori medii di *d* in milionesimi di millemetro.
Violetto estremo	406		
Violetto indaco	439	Violetto	423
Indaco turchino	459	Indaco	449
Turchino verde	492	Turchino	475
Verde giallo	532	Verde	521
Giallo aranciato	571	Giallo	551
Aranciato rosso	596	Aranciato	583
Rosso estremo	645	Rosso	620

Laonde due raggi appartenenti al *rosso medio* dello spettro si distruggono e generano il nero, quando incontransi dopo aver percorso spazj la cui differenza è un numero dispari di volte $\frac{620}{2}$, ossia 310 milionesimi di millimetro; per due raggi violetti la differenza degli spazj percorsi deve esser solo di un numero dispari di volte $\frac{423}{2}$, ovvero 212 milionesimi di millimetro. Riprendiamo ora l' esperienze degli specchi, per ricavarne la dimostrazione del principio del quale di sopra è detto, ed assegnare il valore di *d*.

Il punto *p* (*fig.* 259) essendo l' immagine del punto *f* sul primo specchio, si ha $fn = np$ e $cp = cf$.

Per la stessa ragione, per rispetto al secondo specchio, si ha $fn' = n'p'$ e $cp' = cf$.

Dunque $cp = cp'$. Donde segue che la linea lcl' ha tutti i suoi punti egualmente lontani dalle due immagini *p* e *p'*.

Ma la luce che si riflette sul primo specchio trovasi, per la sua direzione e pel cammino che fa, perfettamente come se partisse dal punto *p*; quella che si riflette del secondo specchio trovasi perfettamente come se partisse dal punto *p'*.

Tutti i raggi dunque come *fgb* ed *fhb*, che vengono ad incontrarsi nella linea *ll'*, son raggi che han percorso spazj eguali; e per contro la linea *lcl'*, essendo egualmente lontana dai punti *pp'*, trovasi essere il luogo d' incontro di tutti i raggi che han percorso spazj eguali. Or siccome per tutta questa linea trovasi una frangia centrale brillante, avente una volta di più di splendore di quello che verrebbe da un solo specchio, ne segue che i raggi uniscon la loro luce se incontransi dopo di aver percorso spazj eguali.

Poniam mente ora alla prima frangia oscura *s*, tanto a destra quanto a sinistra della frangia centrale, ed uniamo il suo mezzo coi due punti *p* e *p'*, che si possono considerare come i due punti raggianti. Egli è chiaro che i raggi *ps* e *p's*, che giungono in questo punto, incontransi dopo di aver percorsi spazj disuguali, la cui differenza è $sp - sp'$ per la frangia oscura della sinistra, ed $sp' - sp$ per quella della destra. Non si farà dunque altra cosa che esprimere un fatto quando si dica: che i raggi si distruggono quando s' incontrano dopo aver percorso spazj la cui differenza è $sp - sp'$. Ora Fresnel, avendo determinato la giacitura dei punti *p* e *p'*, e misurata minutamente la distanza *ss*, ne ha potuto agevolmente dedurre la differenza degli spazj percorsi; e per tal modo ha conchiuso che i raggi de' varj colori si neutralizzano, quante volte s'incontrano dopo di aver percorso spazj, la cui differenza sia di 310 milionesimi di millimetro pei raggi rossi, 212 pei violetti, ec., secondo che trovasi nell'antecedente tavola notato.

Fresnel ha parimenti misurata la distanza *s' s'* delle frange oscure del second'ordine, indi quella del terzo, ec.; ha misurato poi quella delle frange lucide del primo, secondo, terzo ordine . . . Fatto il paragone delle misure, ne ha ricavato il principio fondamentale del quale di sopra è detto, che i raggi cioè si sommano, quando la differenza degli spazj percorsi è $0, \frac{2d}{2}, \frac{4d}{2}$, ec., e che si distruggono quante volte l' anzidetta differenza è $\frac{d}{2}, \frac{3d}{2}, \frac{5d}{2}$, ec.

L'andamento iperbolico delle frange è una immediata conseguenza di questo principio; imperocchè è facile il vedere che la serie dei punti, pe' quali la differenza $sp-sp'$ delle distanze dei punti p e p' resta costante, forma un ramo d'iperbole. che ha i suoi fuochi in p e p'; che la serie dei punti pei quali la differenza $s'p-s'p'$ resta costante, forma un'altra imperbole che ha gli stessi fuochi: lo stesso vale pe' punti, la cui differenza $s''p-s'p''$ è costante, ec.

Consideriamo, in generale, la frangia brillante corrispondente ad una differenza di n ondulazioni, ovvero ad una differenza nd, di cammino percorso; dinotiamo con $2a$ e $2b$ il primo ed il secondo asse dell'iperbole, e con $2c$ la distanza cognita delle due immagini p e p', ovvero de' due fuochi. Si avrà così, per le proprietà dell'iperbole $a=\frac{nd}{2}$, $b=\sqrt{c^2-a^2}$; e supponendo che le frange sien ricevute sopra un quadro perpendicolare alla linea lcb, e situato ad una distanza m della retta pp', allora la frangia in questione sara lontana dalla frangia centrale per una quantità $x=a\sqrt{\frac{m^2}{b^2}+1}$.
Se il quadro è talmente lontano da potersi considerare m come grandissima rispetto a b, si potrà, in tal caso, disprezzare 1 rispetto ad $\frac{m^2}{b^2}$, e s'avrà $x=\frac{am}{b}$, ovvero; ponendo in questa espressione il valore di b dato più sopra, sarà $x=\frac{am}{c}\left(1-\frac{a^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$, ed arrestando lo sviluppo del secondo membro ai soli primi due termini, atteso che c è maggiore di a, verrà $x=\frac{am}{c}\left(1+\frac{a^2}{c^2}\right)$; ed in fine, ponendo per a il suo valore $\frac{nd}{2}$, risulterà

$$x=\frac{ndm}{2c}\left(1+\frac{n^2d^2}{8c^2}\right).$$

Quando n non sarà eccessivamente grande, si potrà disprezzare il secondo termine, e prendere solamente

$$x=\frac{ndm}{2c}.$$

Allora l'intervallo z tra due frange consecutive, ovvero la *larghezza d'una frangia*, sarà numericamente data da questa semplice formola:

$$z=\frac{dm}{2c}.$$

Mercè questa formola intanto potremo calcolare il valore di d, ovvero la lunghezza dell'ondulazione, quando con misure precise siensi ottenuti i valori numerici di c, z ed m.

Si può del pari determinare quale sia l'angolo degli specchi, corrispondente a frange di larghezza data, e si vedrà che esso diverrà sufficientemente grande, pria che le frange divenissero invisibili.

Or s' intende perchè le frange spariscano quando si sopprime la luce riflessa da uno degli specchi; e di fatto allora non v'è più interferenza: i raggi dello specchio scoverto seguono il loro cammino senza essere parzialmente distrutti, e ne risulta perciò una luce di tinta uniforme in tutta l'estensione del fascio riflesso.

In pari modo si comprende perchè le frange sieno spostate frapponendo una lamina trasparente nel fascio di uno degli specchi; poichè, essendo diversa la velocità della luce in mezzi differenti, i raggi non impiegano lo stesso tempo per attraversare la grossezza della lamina interposta, e per attraversare uno strato d'aria d' una grossezza eguale a quella della lamina. Se essi mettono più tempo per attraversare la lamina, il loro cammino per l'aria può considerarsi più lungo. Ne risulta perciò una positiva ineguaglianza tra i due cammini percorsi, quantunque le lunghezze di questi cammini fossero geometricamente eguali. Da ciò deriva lo spostamento delle frange; e poichè il senso di questo spostamento, osservato per la prima volta dal signor Arago, annunzia sempre un ritardo nella luce che attraversa il vetro, ne risulta, in modo incontrastabile, la luce muoversi più lentamente nel vetro che nell'aria.

241. *Spiegazione del principio delle interferenze secondo la dottrina delle ondulazioni.* — Figuriamoci una retta indefinita ax (*fig.* 255) secondo la quale si propaga la luce semplice di qualunque colore. Supponghiamo da prima, e per maggiore semplicità, che i moti di vibrazione accadano pel verso del raggio, che una molecola di etere cioè riceva sulla linea ax due opposte velocità: delle velocità positive per esempio che la spingano secondo ax che è il verso della propagazione, ed indi delle velocità negative che la repellano secondo xa verso l'origine del moto che supporremo verso la sinistra del punto a. Le velocità positive

passano necessariamente per diversi gradi d'intensione: esse da prima son nulle, indi crescono fino a giungere ad un massimo, e dopo decrescono fino a zero. Accade lo stesso alle velocità negative, e si suppone di più che queste patiscano perfettamente le stesse vicende delle prime. Per la qual cosa, se tutte le molecole della linea *ax* si considerino nello stesso tempo, se ne troveranno in tutti gli stati e con tutti i gradi possibili di velocità. Nel punto *c* per esempio la velocità sarà nulla; i punti antecedenti fino a *d* avranno velocità positive crescenti sino a *p* e poi decrescenti; da *d* a *c* le velocità saranno negative, avendo similmente un massimo in *p;* da *c* ad *a* ricominceranno gli stessi periodi, i quali continueranno sulla intera lunghezza della linea luminosa. La lunghezza della linea *ec*, sulla quale trovasi un intero periodo di velocità secondo il loro ordine, è ciò che chiamasi la *lunghezza dell'ondulazione*. Cotesta lunghezza è di 520 milionesimi di millimetro pei raggi rossi medj, e di soli 423 milionesimi pei violetti. Laonde soffermando col pensiero il rapidissimo moto di un raggio luminoso, ed osservandolo come esso è in tal momento, si troverebbero, per la luce rossa, un milione di ondulazioni nella lunghezza di 620 millimetri, ossia un milione di spazj come *ac, de*, ec.

Ora per meglio rappresentare all' occhio i diversi stati delle molecole nella lunghezza di un' ondulazione, si può da ciascuna molecola innalzare sulla linea *ax* una perpendicolare, la quale rappresenti in lunghezza la corrispondente velocità; e siccome la direzione della velocità è da *a* verso *x* pei punti compresi tra *e* e *d*, e per contro da *x* verso *a* pei punti compresi tra *d* e *c*, se le anzidette perpendicolari s' innalzino *al di sopra* di *ax* nel primo caso ed *al di sotto* nel secondo, la linea sinuosa *cmdne*, formata dagli estremi di queste perpendicolari, potrà dare una giusta idea della direzione e del grado di velocità. Le curve delle velocità descritte secondo questi principj e queste convenzioni, possono anche essere utili a distinguere le ondulazioni; e siccome si possono immaginare infinite curve diverse che passino pei punti *e*, *d* e *c*, e soddisfino alle condizioni necessarie di grandezza e di simmetria, egli è chiaro potersi dare una infinità di ondulazioni diverse e tutte della stessa lunghezza.

Dopo di aver conosciuto lo stato in cui si trovano i *varj punti* della linea luminosa *ax* in *un dato momento*, dobbiamo vedere lo stato *di uno stesso punto in più istanti consecutivi*. Il punto *e*, per esempio, sta in quiete, e la sua velocità è nulla; ma nel momento appresso tutte le velocità, che affettano *presentemente* i punti precedenti fino a *c*, affetteranno *successivamente* il punto *e*. E però dire che un' ondulazione passa per un dato punto, è lo stesso che dire che questo punto riceve successivamente, e secondo il loro ordine, tutte le velocità che formano un' ondulazione.

Ciò posto consideriamo un' altra linea *ax* (*fig.* 256), ed un' altra ondulazione simile all' antecedente che si prolunghi secondo questa linea; supponghiamo di più che questa seconda ondulazione sia d' accordo con la prima, che corrispondano cioè tra loro per un dato momento i punti di moto e di quiete. Egli è chiaro che se cotesta perfetta corrispondenza avviene in un dato momento, si manterrà per sempre. Quando il punto *e* sarà in quiete sulla prima linea, lo sarà anche sulla seconda; quando avrà la maggior velocità positiva sulla prima, l'avrà anche sulla seconda, ec. Or se, per un mezzo qualunque, si potesse ridurre il raggio luminoso *ax* della figura 256 a coincidere col raggio *ax* della figura 255, senz' alterare l' accordo che regna tra essi, egli è chiaro che tutte le velocità sarebbero raddoppiate per la sovrapposizione de' piccoli moti, e la intensione della luce ne sarebbe accresciuta.

Accadrebbe lo stesso se uno de' raggi si trovasse preceder l'altro o seguirlo per una o più intere ondulazioni, o, che vale lo stesso, per un *numero pari* di semi-ondulazioni.

Lo stesso finalmente sarebbe se i due raggi, in vece di soprapporsi, venissero ad incontrarsi nello stesso punto sotto una piccola obbliquità.

Primieramente dunque, due raggi omogenei mischiano la loro luce, quando incontransi sotto piccola obbliquità, ed uno di essi trovasi, per rispetto all'altro, precedere o ritardare per un *numero pari* di semi-ondulazioni.

Ma se uno de' raggi è in ritardo, per rispetto all'altro, di una semi-ondulazione, siccome il raggio *a'x'* (*fig.* 257) per rispetto all'altro *a'x'* (*fig.* 256), i fenomeni cambieranno aspetto: allora il punto *e* per esempio (*fig.* 256) corrisponde al punto *f'* (*fig.* 257). Il primo di questi punti sarà attraversato dall'onda *edc*, ed il secondo dall'altra *f'e'd'*; e però l'uno prenderà velocità positive e l'altro velocità negative eguali, e *viceversa*.

Per la qual cosa, se i due raggi *ax* ed *a'x'* si suppongan ridotti a coincidere, le velocità in ogni momento distruggerannosi mercè il loro sovrapporsi, e tutt' i punti saranno in quiete: più non vi sarà moto e neppur luce.

Quindi la coincidenza di due raggi omogenei può generare perfetta oscurità.

Lo stesso accadrebbe se uno de' raggi si trovasse ritardare o preceder l' altro per qualunque numero dispari di semi-ondulazioni.

Nè diversamente accadrebbe la cosa, quando i raggi s' incontrassero sotto una piccola obbliquità.

In secondo luogo dunque, due raggi omogenei si neutralizzano e generano le tenebre quando, incontrandosi sotto una piccola obbliquità, l'uno segue o precede l' altro per un *numero dispari* di semi-ondulazioni.

La disamina che abbiam fatta de' moti vibratorj che si eseguono secondo i raggi, applicasi anche a quelli che potrebbero compiersi perpendicolarmente a'medesimi, purchè siano nello stesso piano; imperocchè se trovansi in piani diversi la loro composizione segue altre leggi.

In tal modo il principio delle interferenze è una legittima illazione della dottrina delle ondulazioni. Ritornando ora all' esperienza degli specchi, se ne potrà agevolmente fare la disamina, e rendersi certo che la disuguaglianza degli spazj percorsi da' raggi, che vanno a generare le frange oscure e brillanti, cagiona un ritardo di un numero impari di semi-ondulazioni nel primo caso, e di un numero pari nel secondo.

422. ***Descrizione dello strumento generale di diffrazione.*** — Le figure 248 e 253 rappresentano le varie parti dell' intero apparecchio o *banco di rifrazione*, che ho fatto eseguire per la Facoltà delle scienze dal signor Soleil, il quale con molta ingegnosa precisione fabbrica gli strumenti di ottica.

a è un piano di legno, sostenuto da viti di livello, il quale è lungo poco più di due metri; *b* è un pezzo metallico molto solido della lunghezza di due metri, disposto a guisa di un banco da tornio; cioè i suoi orli superiori sono perfettamente dritti, l'uno *c* è piano, e l'altro *d* prismatico; sopra questo banco si adattano de' sostegni di rame come *s* (*fig.* 248), *s'* (*fig.* 249) *s''* (*fig.* 250), aventi tutti la stessa altezza e lo stesso asse; nel sostegno *s''* si vede la scanalatura ordinata a ricevere le tavolette rappresentate nella figura 251 dal numero 1 fino al numero 17, sopra le quali son disposti gli apparecchi che debbono operare sulla luce. Tra questi, i due primi sono ordinati per esser posti sul primo sostegno *s''*, cioè al principio del banco, e servono solo a disporre la luce in fasci di forme e dimensioni convenienti; gli altri van messi sul secondo sostegno *s'*, cioè ad una certa distanza, dietro il primo sostegno, per ricevere la luce e generare i varj fenomeni d'interferenza o di diffrazione.

N.° 1. Lente cilindrica per la testa del banco.

N.° 2. Apparecchio ad ugnatura, avente una fessura di grandezza variabile; esso in molte esperienze dev'essere posto in vece della lente cilindrica.

N.° 3. Tavoletta ad ugnatura, che copre la metà dell'apertura dell'altra tavoletta.

N.° 4. Un sottile filo metallico, un crine o un capello.

N.° 5. Un ago, ovvero una lamina aguzza.

N.° 6. Un'asticella di un millimetro di diametro. Dall'una e dall'altra parte v'è una lastra mobile, l' una opaca per le esperienze di Young, l'altra trasparente per le esperienze di Arago.

N.° 7. Piccol cerchio opaco sopra una lastra di vetro.

N.° 7. *bis.* Buco circolare, più piccolo del cerchio opaco n° 7, questo deve trovarsi sul primo sostegno, quando il cerchio n° 7 trovasi sul secondo.

N.° 8. Apparecchio ad ugnatura per lo secondo sostegno; il bottone della vite dev'esser graduato, affin che si possa misurar con precisione la larghezza dell'apertura, ossia la distanza delle ugnature.

N.° 9. Buco rotondo di circa un millimetro per le frange circolari; è mestieri che ve ne siano due simili, uno per lo primo sostegno e l'altro pel secondo.

N.° 10. Specchio di vetro nero per le frange che si generano, mercè il potere degli orli su'la riflessione; se ne vede il taglio al di sotto.

N.° 11. Specchio simile all'antecedente, ma molto più stretto, affinchè i due orli operino come due ugnature vicine; se ne vede il taglio al di sotto.

N.° 12. Tre verghette di uno in due millimetri di diametro; le due degli orli servon solo a far delle fessure lateralmente a quella di mezzo; in questo stato esso serve per far con la luce del sole le esperienze delle fenditure strette del dottore Young; v' ha dippiù una lastra opaca, per chiudere a piacimento una delle fessure sopra una parte della sua altezza; dall'altra parte poi v'è la lastra di vetro di Arago per covrire una o entrambe le fessure.

N.° 13 Apparecchio simile all'antecedente, ma con asticelle più sottili, per fare le stesse esperienze con la luce di fiamma;

N.° 14. Due picciolissime aperture circolari per l' esperienza di Grimaldi con lastre simili alle antecedenti.

N.° 15. Ordinamento del doppio prisma del Pouillet, rappresentato a parte nella figura 252.

N.° 16. Disposizione degli specchi di Fresnel, rappresentati a parte nella figura 258.

N.° 17. Graticolato fatto con tratti di diamante equidistanti e paralleli, o sopra vetro o su lastre metalliche; vi sono da 20 a 100 tratti per ogni millimetro.

Per fare le sperienze con la luce solare, si fa entrare in una camera oscura, mercè un eliostata, un fascio di luce secondo l'asse ottico del banco di diffrazione, e questa luce, preparata dalla lente n° 1, o dal buco n° 2 del primo sostegno, va a cadere sull'apparecchio del secondo sostegno. Se si voglia sperimentare la luce omogenea si porrà dietro il primo sostegno un vetro rosso, o si accomoderà un prisma all'imposta della camera buia, ed i varj colori provenienti da esso si dirigeranno sussecutivamente sul banco di diffrazione.

Se si vuole fare uso della luce artificiale, si pone in capo del banco una fiamma d'alcool salato, o una lampada alla Carcel, la quale, oltre al tubo di vetro, ne abbia uno di latta bucato, di rincontro alla fiamma, con piccola apertura, per la quale la luce dirigesi secondo la lunghezza dello strumento, e poi si procede come per la luce del sole.

Nell'uno e nell'altro caso le frange che si generano, si osservano presso l'altro estremo del banco, mercè il *micrometro di Fresnel*, che osservasi posto al suo luogo nella figura 248. Questo è composto di una vite micrometrica v, il cui passo per esempio sia di $\frac{1}{2}$ millimetro, ed il bottone t suppongo che sia graduato in 500 parti, in modo che ad ogni divisione corrisponda uno spostamento di un millesimo di millimetro; la vite col suo moto trasporta un pezzo di rame, in cui è fatto un buco, nel quale si accomoda una lente d'ingrandimento, disegnata da parte in l, e nel fuoco di questa sta teso un finissimo filo verticale, che si scosta con essa e col pezzo di rame sul quale sta fermata. Premesse tali cose, s'intende che, per misurare l'assoluta distanza tra due frange oscure o brillanti, basterà osservare sul bottone della vite per quante divisioni questa si è dovuta girare, affinchè il filo micrometrico passasse dal mezzo di una delle frange al mezzo dell'altra. Per ridurre la lente verso il suo luogo ove cadon le frange, tutto il micrometro si fa muovere sul grosso pezzo y mercè un rocchetto dentato z ed un'asta dentata w. Le distanze tra l'apparecchio, che opera sul secondo sostegno ed il filo micrometrico, si misurano con tutta la precisione, mercè le divisioni del banco.

Gli specchi di Fresnel, siccome di sopra è detto, sono fermati alla tavoletta n° 16; ma noi abbiamo stimato utile il rappresentarli da parte più in grande nella figura 258. Il primo specchio m è fermato da tre viti; il secondo m' è mobile sulle punte delle due viti a e b, e s'inclina più o meno mercè la terza vite c. La tavoletta sulla quale sono aggiustati questi specchi ponsi sul banco, per circa due decimetri lontana dal capo dello stesso, ed allora si può fare andar innanzi il micrometro dall'estremo del banco, fin presso agli specchi, per osservare le frange in varie giaciture, o che sian generate dalla luce dello spettro, o che si abbiano mercè la lucerna del Carcel e di un vetro rosso.

Essendo questa esperienza molto delicata, così io pensai una volta di giovarmi del doppio prisma della tavoletta n° 15, la cui sezione è dinotata da parte nella figura 252: l'inclinazione delle facce a e b è molto esagerata, perchè essa deve essere assai picciola; le grossezze del vetro attraversate dalla luce essendo pochissimo diverse, intendesi che, per tal modo, si hanno differenze di spazj percorsi, simili a quelle generate dagli specchi, e però frange le quali presentano le stesse qualità.

Allorchè queste, e le seguenti sperienze, fannosi con la luce bianca, i fenomeni mutano aspetto: più non si osservano frange alternativamente oscure e brillanti, ma sibbene variamente colorate. E per fermo le frange violette essendo sempre più strette delle rosse e per conseguenza più unite, è chiaro che le frange di diverso colore si soprappongono le une alle altre, in guisa da generare tinte composte, che si seguono con ordine regolare. La figura 254 dà un'idea di tale composizione; essa rappresenta solo le frange rosse verdi e violette, ed è facile il prevedere quello che accadrebbe se si soprapponessero.

423. *Frange generate dagli orli delle lamine.* — Quando sul primo sostegno dell'apparecchio generale ponsi la tavoletta n° 1, e l'altra n° 2 sul secondo, la linea, che va dal fuoco della lente agli orli della tavoletta, determina l'ombra geometrica, e si vede che in quest'ombra, osservata da qualsivoglia distanza, non v'ha alcuna frangia; trovasi una sola tinta che va rapidamente scemando; ma al di fuori dell'ombra, nello spazio che dovrebbe essere uniformemente illuminato, si osservano molte frange alternativamente oscure e brillanti, se la luce è omogenea, e frange di varj colori se la luce è bianca: osservandole col micrometro, sarà agevole il rendersi certo che la 1ª, la 2ª

e tutte le seguenti trovansi su rami d'Iperbole sempre più aperte, aventi il loro vertice agli orli della tavoletta, ed il loro centro comune alla metà della distanza, che separa la tavoletta dal punto luminoso, ossia dal fuoco della lente. Le osservazioni, mercè le quali rendesi aperto l'andamento iperbolico delle frange, fannosi facilmente mercè una tavoletta larga che abbia gli orli paralleli: imperocchè basterà allora misurare la distanza di due frange dello stesso ordine, poste una a destra e l'altra a sinistra, sottrarne la larghezza dell'ombra della tavoletta, e prendere la metà del residuo, il quale dinota la distanza della frangia all'ombra geometrica.

Ecco ora il principio generale, mercè di cui Fresnel rende ragione della generazione delle frange e di tutte le proprietà delle medesime, sia qualunque l'apparecchio col quale sonosi avute.

» Le vibrazioni di un'onda luminosa in ciascuno de'suoi punti possonsi considerare come la somma dei moti elementari, che vi perverrebbero nello stesso momento, operando separatamente tutte le parti di quest'onda, considerate in una delle antecedenti giaciture ».

Così, essendo f (*fig.* 260) un punto luminoso o il fuoco di un fascio di luce semplice, ed il cerchio xzx' rappresentando una parte di un'onda inviata da questo punto luminoso, la velocità che si genera in un punto qualunque p, quando questa porzione dell'onda vi passerà, sarà la stessa di quella che sarebbe generata in questo punto dalla risultante di tutte le azioni, che i varj elementi amc dell'onda potrebbero sopra di esso esercitare, considerati siccome altrettanti centri di vibrazione o altrettanti punti luminosi. Accade anche che, nella composizione dei moti elementari recati in p dalle varie parti dell'onda xzx', si deve solo tener conto delle parti, che avvicinano il punto z posto sulla linea fp, e trascurare interamente quelle che ne sono molto lontane, affinchè le luce corrispondenti, come ap, mp, cp, abbiano una sensibile inclinazione, perocchè le loro azioni diventano contrarie ed a vicenda distruggonsi. E per fermo, prendiamo per cagion di esempio i tre punti a, m, c, in modo che $ap - mp$ sia eguale ad $mp - cp$, ed eguale ad una semi-ondolazione, per cagione dell'obbliquità di queste linee e della loro lunghezza la quale è come infinita per rispetto alla picciolissima lunghezza di una semi-ondulazione; egli è chiaro che gli archi picciolissimi ma ed mc saranno tra loro eguali: or le ondulazioni, che arriverebbero in p secondo ap e secondo mp, essendo in discordanza, differendo cioè per una semi-ondolazione, si distruggerebbero; similmente le onde le quali partirebbero da tutti i punti, compresi tra a ed m, essendo in discordanza con quelli che partirebbero dal corrispondenti punti compresi tra m e c, vi dovrà essere compiuta distruzione, imperocchè $am = mc$. La risultante dunque delle azioni dell'onda xzx' sul punto p deriva solo dalle azioni generate dai varj punti di quest'onda i quali son poco lontani dal punto z. Quello che diciamo del punto p vale anche per p', e per ogni altro punto: la risultante cioè delle azioni, che i varj punti di un'onda esercitano sopra un dato punto, deriva solo dalle azioni generate dai punti di quest'onda, che trovansi ad una picciola distanza dalla linea condotta dal punto luminoso al punto dato. Quando l'onda liberamente propagasi, tutte queste risultanti sono eguali, pei punti che sono alla stessa distanza dal punto luminoso, e la luce è uniforme.

Ma quando l'onda xzx' incontra un ostacolo, un piano per esempio zv (*fig.* 261), la porzione zx' essendo arrestata, la risultante delle azioni che si esercitano al punto p è solamente generata dai varj punti della porzione zx dell'onda che rimane libera. Laonde per conoscere l'effetto del piano, è mestieri calcolare la risultante dell'azioni, che i diversi punti della parte libera dell'onda possono esercitare sopra un punto dato.

Or se questo punto sia per esempio in p', in modo che la linea fp' vada a penetrare la superficie dell'onda xzx' in un punto z', alquanto più lungi dall'orlo z del piano, segue, da quello che di sopra è detto, che la risultante dipendendo solo da' punti vicini al punto z', ed in verun modo da'punti lontani come z ed x', la vivacità della luce, che cade in p', non sarà punto modificata per la presenza del piano. Ecco la ragione per cui le frange diffratte non si estendono mai oltre ad una piccola distanza angolare dagli orli del piano.

Ma se il dato punto sia in p'', in modo che fp'' penetri l'onda in un punto z'', molto vicino a z, allora l'azione che si esercita secondo zp'' non può esser trascurata, e la luce che arriva in p'' sarà dalla presenza del piano modificata.

Procuriamo di fare intendere il principio di queste modificazioni, e la cagione delle alternative di ombra e di luce che ne derivano. Per non confondere le idee, diremo solo quello che accade nel piano della figura; è agevole l'intendere lo stesso dover accadere ne' piani a questo vicini; o che il fuoco f provenga da

una lente cilindrica parallela all' orlo del piano, o da una lente sferica, o da una picciolissima fessura.

Sia f il punto luminoso (*fig.* 262) ed xzx' la porzione di un' onda che si propaga verso il punto p. Tiriamo la retta fp, e separiamo col pensiero gli effetti generati sul punto p, dalle due parti xz e zx' dell' onda xzx', essendo queste parti troppo estese perchè possano comprendere tutt' i punti dell' onda acconci a trasmettere azioni sensibili in p; imperocchè secondo quello che di sopra è detto, noi possiamo trascurare tutto ciò che trovasi ad una distanza alquanto grande dal punto z. Essendo tutto simmetrico da ciascun lato di fz, è chiaro che la somma delle azioni, operate in p da xz, sarà la medesima di quella delle azioni operate nello stesso punto da zx', e che se si esprima per 1 la velocità che risulta dalle prime, 1 sarà anche quella che risulta dalle seconde, e però il punto p riceverà una velocità 2, quando riceverà interamente e senza verun ostacolo la somma delle azioni, che tutt'i punti *efficaci* dell'onda xzx' possono sopra di esso esercitare.

Dal punto p come centro e col raggio pz descriviamo un arco di cerchio, e segniamo le rette pb, ps, pb', ps', ec., in modo che le loro parti bt, sr, $b't'$, $s'r'$, ec., comprese tra gli archi zx' e zk siano rispettivamente eguali ad una, a due, a tre, ec. semi-ondulazioni; da questa semplice descrizione se ne potranno inferire le seguenti verità:

1° Gli archi corrispondenti zb, sb, sb', $b's'$, ec., per la loro grandezza e distanza, dipendono dall'onda xzx' dal punto luminoso f, e dalla distanza del punto p dall' onda xzx'; ma in tutt' i casi andranno più o men rapidamente decrescendo, il primo zb essendo più grande del secondo, questo più del terzo, ec.

2° Tutt'i punti compresi tra z e b, ovvero nel primo arco, eserciteranno sul punto p azioni tra loro *cospiranti*, sia poi quale si voglia l'ordine secondo cui decresce l'intensione di queste azioni, a misura che si vada più lungi da z; sarebbe lo stesso delle azioni esercitate da'punti compresi tra b ed s, ossia nel secondo arco, e di quelli compresi tra s e b' tra b' ed s', ec.

3° Le azioni esercitate da' punti compresi tra z e b, ovvero nel primo arco, saranno *discordanti* con le azioni esercitate da' punti compresi tra b ed s, ossia nel secondo arco; queste saranno discordanti con quelle del terzo, le quali a lor posta saran discordanti con quelle del quarto, ec.; imperciocchè l' azione che si esercita secondo zp sarà in perfetta discordanza con quella che si esercita secondo bp, dappoichè per ipotesi le lunghezze di queste linee differiscono per una semi-ondulazione. Per la stessa ragione ogni punto, compreso tra z e b, sarà in discordanza con uno dei punti compresi tra b ed s, perciocchè si possono scegliere questi due punti in modo che la differenza delle loro distanze dal punto p sia di una semi-ondulazione, ec.

4° Malgrado queste intere discordanze, l'azione del primo arco zb sarà solo in parte distrutta da quella del secondo arco bs, imperocchè zb è maggiore di bs, ed i punti di zb operano sul punto p meno obbliquamente, e però con maggiore efficacia, de'punti di bs, così anche l' azione del terzo arco sarà parzialmente distrutta da quella del quarto, ec.; la risultante totale dunque delle azioni dell'arco zx sul punto p altro non è che la differenza delle azioni discordanti e contrarie, generate su questo punto dal primo e dal secondo arco, dal terzo e dal quarto, ec.; o se si voglia, questa risultante è l'eccesso delle azioni generate dagli archi di ordine dispari su quelle degli archi di ordine pari, essendo tutti questi archi, siccome abbiam veduto, determinati con la condizione, che le rette pz, pb, ps differiscano per una semi-ondulazione. Questa differenza o questo eccesso dà al punto p, per un verso o per l' altro, una velocità la quale abbiam supposto che fosse eguale ad 1.

5° Il primo arco, ovvero il più vicino alla linea fp, è quello che determina il verso di questa velocità che viene impressa dalla risultante totale; e se si potesse, per esempio, arrestare o sopprimere l'azione di tutt' i punti compresi tra z e b, la risultante di tutti gli altri rimanenti darebbe in p una velocità minore di 1, ed il punto p vibrerebbe secondo la risultante di bs, sarebbe cioè in discordanza con la risultante delle azioni di zb. Da ciò segue pure, che l' azione generata dal primo arco solo la vince in intensione sull'azione generata da tutti gli archi uniti insieme; imperocchè il risultamento cambia di segno secondo che vi entra o no il primo. Quello che diciamo del primo per rispetto a tutti gli altri, si applica a qualunque degli archi per rispetto a tutt' i seguenti; l' azione isolata di ciascuno la vince sempre in intensione sulla somma delle azioni di tutti quelli che seguono.

Questa conseguenza ci conduce alla vera cagione della generazione delle frange.

E per fermo, supponghiamo prima che un piano arresti tutta la parte zx' dell'onda xzx' (*fig.* 262); il punto p riceverà allora l'azione della parte xz e prenderà una velocità eguale ad 1.

Supponiamo in secondo luogo che l'orlo del piano sia in b; allora la parte bx' solamente verrà arrestata, ed il punto p riceverà l'azione di xz più quella di zb; queste azioni sono cospiranti, ed in p ne risulta una velocità eguale ad 1 dalla parte di xz e maggiore di 1 dalla parte di zb. Quando dunque il punto p è posto in tal guisa per rispetto al piano, che la somma delle distanze $fb + pb$ dall'orlo del piano, superi per una semi-ondulazione la linea retta fp, esso riceverà una velocità maggiore di quella, che riceverebbe, se il piano non vi si trovasse punto.

Supponghiamo in terzo luogo che l'orlo del piano sia s; la sola parte sx' verrà ad essere arrestata, il punto p riceverà l'azione di xz più quella di zs: la prima genera in p una velocità eguale ad 1; la seconda essendo solo l'eccesso della risultante di zb sopra quella di zs, dà una velocità minore di 1; quando il punto p dunque è posto per rispetto al piano in modo, che la somma delle distanze $fs + ps$ dall'orlo del piano, superi per due semi ondulazioni la linea retta fp, riceve una velocità molto più picciola di quella che riceverebbe, se il piano non vi fosse punto.

Seguendo lo stesso raziocinio, possiamo generalmente conchiudere, che la presenza di un piano aumenta la velocità di vibrazione in tutti i punti, pe' quali la linea interrotta, che arriva al punto luminoso, passando per l'orlo del piano, eccede per un numero impari di semi-ondulazioni la linea che arriva direttamente al punto luminoso: la traccia dunque di tutti questi punti forma quella di tutte le frange brillanti: e per contro, che la presenza del piano scema la velocità di vibrazione in tutti i punti, nei quali la linea spezzata, che viene dal punto luminoso rasente l'orlo del piano, supera per un numero pari di semi-ondulazioni la linea, che viene direttamente dal punto luminoso; la traccia di questi punti dunque forma quella delle frange oscure. Da tutto ciò possiamo concludere, che le tracce di queste frange formano delle iperboli e non delle linee rette; che sono più spesse nella luce violetta che nella luce rossa; finalmente che le loro distanze dall'ombra geometrica variano con la distanza del punto luminoso dal piano, e con quella dell'altro piano sul quale sono ricevute.

Nelle cose dinanzi discorse abbiam parlato solo delle velocità delle vibrazioni, che deve prendere il punto p, secondo la sua giacitura per rispetto alla parte dell'onda non arrestata dal piano, imperocchè veramente sono queste le velocità che immediatamente derivano dalla composizione de' moti elementari che esso, dalle varie parti dell'onda luminosa, riceve. *Per rispetto alla intensione della luce*, ovvero alla vivacità della sensazione che ne possiamo ricevere, essa non è proporzionale a queste semplici velocità, ma al quadrato di esse: imperocchè è chiaro esser essa proporzionale alla forza viva, al quadrato cioè della velocità moltiplicato per la densità del mezzo; e nel fondo de' nostri occhi cotesta densità dell'etere è costante per la stessa organizzazione. Osserviamo finalmente che per la luce, del pari che pel suono, i cambiamenti di velocità non alterano l'isocronismo delle vibrazioni, ma solo le loro ampiezze; un suono grave riman sempre tale, perocchè le sue vibrazioni si compiono sempre nello stesso tempo; per la stessa ragione la luce rossa riman sempre rossa, e questa differisce dalla violetta, perchè corrisponde ad un minor numero di vibrazioni nello stesso tempo, appunto come per una simile ragione un suono grave da un suono acuto differisce. Fresnel, partendo da questi principj, è giunto non solo a rendere ragione del generarsi delle frange in tutti i casi possibili, ma a dare delle formole per calcolare l'intensione della luce ed il genere delle tinte che si spiegano ne' principali fenomeni d'interferenze e di diffrazione.

424. *Frange interne generate nell' ombra de' piccioli corpi o delle lamine strette.* — Sia ll' (*fig.* 263) una lamina opaca, f un punto luminoso, $xll'x'$ l'onda incidente, che supporremo appartenere alla luce rossa omogenea, t il fuoco della lente sulla quale si riceve l'ombra della lastra opaca, gg' la larghezza dell'ombra geometrica, e p un qualsivoglia punto in quest'ombra, il cui asse sta secondo la retta fzt.

Sul cerchio $xll'x'$, che rappresenta l'onda incidente, si prendano verso la sinistra di lx de' punti a, b, c, d, ec. in modo che, congiungendoli col punto p, la differenza tra due di queste linee consecutive sia eguale alla lunghezza di una semi-ondulazione.

A destra di $l'x'$ si prendano similmente dei punti a', b', c', ec., i quali soddisfacciano alla stessa condizione.

Ciò posto, per conoscere la velocità che deve prendere il punto p, basterà osservare che essa risulta dalle parziali quantità di moti, generati dalla parte lx dell'onda incidente e dalla porzione $l'x'$.

Or gli archi la ed ab essendo necessariamente disuguali, e di più la intensione degli scuotimenti, che i loro varj punti possono destare in p, essendo diversa per cagion della loro inclinazione crescente sulla linea pf, ne segue

che questi due archi presi insieme mandan luce al punto p, del pari che i due segmenti e poi gli altri due e così appresso, fino a che si arrivi a que'due, pe'quali le linee condotte al punto p siano talmente inclinate sopra pf, che si possano considerare come nulle le differenze degli scuotimenti, che arrivano secondo questa direzione.

Si può tentare di determinare col calcolo la intensione e la direzione di tutti gli scuotimenti parziali, che i varj punti dell' onda la mandano al punto p, ma la teoria non sa ancora risolvere siffatta quistione in un modo generale, e noi d' altra banda ci dobbiam restringere a fare osservare che l'arco la è quello che tra tutti genera il maggiore effetto sul punto p, perocchè esso opera più da vicino e con obliquità minore. Laonde la risultante in ogni caso avrà una direzione come pr più o meno vicina a pl. Ma cotesta direzione si cambierà per due cagioni: 1° restando la stessa distanza tra il punto luminoso ed il piano, la risultante si allontanerà tanto più da pl, per quanto più il punto p si avvicinerà all' orlo dell' ombra geometrica dalla parte di g, imperciocchè le linee pa, pb diventando meno obblique, gli scuotimenti che giungono in p secondo le medesime prendono una maggiore intensione; 2° il punto p restando lo stesso, se il punto luminoso si avvicinerà o si allontanerà dal piano ll', il cerchio che rappresenterà l'onda incidente, e che passa sempre pe' punti l ed l', sarà al di dentro o al di fuori dell'altro xl, e questa circostanza cambiando la disposizione de' punti a, b, c, ec. e l' obbliquità delle linee condotte per questi punti e pel punto p, egli è chiaro che la direzione della risultante pr degli scuotimenti, che quelli generano in questo punto, sarà anche cambiata ed avvicinata tanto più a pl, per quanto più il punto luminoso sarà vicino al piano.

E però, in ultimo risultamento, la luce che la parte la dell' onda invia al punto p, deriva dalla larghezza del piano, dalla distanza di esso dal punto luminoso, e dalla giacitura di questo punto p nell' ombra geometrica.

Quello che abbiam detto della parte lx dell' onda si può egualmente dire dell' altra $l'x'$, la quale perciò dà anche una risultante pr' al punto p, la direzione della quale è più o meno avvicinata a pl'. Ma per la stessa distanza del punto luminoso dal piano si vede che questa risultante si avvicina a pl', a misura che il punto p si avvicina all' orlo g dell'ombra geometrica, e però a misura che la risultante di la si allontana da pl'; e per converso, la risultante pr' si allontana da pl a misura che il punto p si allontana dall' orlo g' dell' ombra geometrica, e però a misura che la risultante pr si avvicina a pl.

Queste due risultanti pr e pr' determinano la velocità del punto p; sempre che esse saranno in accordo si avrà aumento di velocità e luce più viva, e minor velocità e però tenebre, sempre che saranno discordanti. Il primo caso si ha quando la differenza degli spazj percorsi pr e pr' sia nulla o eguale ad un numero pari di semi-ondulazioni, ed il secondo quando questa differenza sia eguale ad un numero dispari di semi-ondulazioni.

Per tutti i punti che son situati sull'asse dell' ombra geometrica, fmy, la differenza degli spazj percorsi sarà sempre nulla, ed il centro stesso dell' ombra sarà una frangia brillante.

Scostandosi dall'asse, sulla linea t, il punto p arriverà tosto in una giacitura per la quale la differenza delle linee pr e pr' sarà eguale ad una semi-ondulazione; vi sarà allora discordanza compiuta, e quindi oscurità; questo fenomeno apparirà così a destra come a sinistra, sempre alla stessa distanza dalla frangia brillante del centro, e le due frange oscure, che ne risulteranno, formeranno il sistema delle frange oscure del primo ordine.

Seguitando a scostarsi dall'una e dall' altra parte dell'asse, il punto p passerà successivamente per siti, ove la differenza degli spazj percorsi pr e pr' sarà di due semi-ondulazioni, il che farà nascere le frange brillanti del secondo ordine, indi di tre semi-ondulazioni e frange oscure del second'ordine, poi di quattro semi-ondulazioni e frange brillanti del terz' ordine, di cinque semi-ondulazioni e frange oscure di terz' ordine, ec.

Se la luce che rade uno degli orli si arresti con una lamina opaca, tutte le frange spariranno, imperciocchè più non vi può essere interferenza; è questo il fatto fondamentale scoperto dal dottor Young, dal quale fu guidato a porre la teoria delle ondulazioni.

Quante volte la luce che rade uno degli orli del piano opaco si faccia attraversare una lamina trasparente, le frange anche spariranno se questa lamina sia alquanto grossa, e cambieranno solo di luogo se questa è sottilissima; questa osservazione di Arago conferma quella del dottor Young, e fa anche conoscere che nei corpi solidi le ondulazioni non hanno la stessa lunghezza che nell'aria. Osservando il verso secondo il quale le frange si spostano, e la grandezza delle medesime, in paragone della grossezza della lamina, si giunge a conchiudere che la ragione delle lunghezze delle ondulazioni è eguale all'indice di rifrazione; e poichè un' ou-

dulazione deve compiersi sempre nello stesso tempo, in tutt'i mezzi, ne segue che la velocità di propagazione in un mezzo è tanto più piccola per quanto questo è più rifrattivo.

Per verificare con l'esperienza la formazione delle frange, lo sparire delle medesime, e tutte le loro proprietà, basterà disporre sul 1° sostegno la tavoletta n° 1 o l'altra n° 2, e sul 2° quelle n° 4, n° 5 o n° 6. Cotesti due sostegni debbono trovarsi alla distanza di circa un metro l'uno dall'altro, e le frange osservansi col micrometro, che si porta avanti è dietro al di là del secondo sostegno.

Dichiarando i principj innanzi esposti, è agevole l'intendere che una lamina circolare opaca di 1 in 2 millimetri di diametro, illuminata mercè una lente o un picciolissimo buco rotondo, deve dare un' ombra circolare il cui centro trovasi illuminato, quasi la lamina fosse diafana. Questa conseguenza può essere agevolmente verificata; e per far questo si adoperano le tavolette n° 7 *bis* sul primo sostegno e l'altra n° 7 sul secondo; queste debbono star distanti tra loro 8 in 10 decimetri, ed allora il micrometro deve porsi dietro la lamina opaca, alla distanza di due o tre decimetri dalla medesima.

425. *Frange generate da picciolissimi buchi.* — Sia *f* (*fig* 264) il punto luminoso, *bb'* la larghezza del foro attraversato dalla luce, ed *fg*, *fg'* i limiti dell' ombra geometrica.

Affinchè meglio s'intenda la cagione onde i fenomeni sono generati, distingueremo tre casi. Può accadere:

1° Che si osservino solo delle *frange esterne*, generate cioè nell' ombra geometrica dall' una e dall' altra parte dell'interno fascio luminoso;

2° Che si osservino solo delle *frange interne*, generate cioè nell'interno fascio luminoso;

3° Che si osservino nello stesso tempo frange interne ed esterne.

426. *Frange esterne.* — Le frange di questa maniera non si possono avere se non mercè angustissime aperture; e pure talvolta accade che, presso l'apertura, esse trovinsi mescolate a più o meno numerose frange interne, in guisa che per averle sole è mestieri andare ad osservarle ad una grande distanza. Ecco le condizioni sotto le quali accadono, e le leggi secondo le quali si generano.

Dal punto *f* come centro descriviamo un arco *xbzb'x'*, il quale rappresenti l'onda incidente (*fig.* 264), e sulla linea *fz* che passa per lo mezzo dell'apertura immaginiamo un punto *p* alla distanza di alcuni decimetri dagli orli *b* e *b'*. Se l' apertura sia tanto stretta che la differenza delle distanze *pb* e *pz* o *pb'* e *pz* sia solo eguale ad una semi-ondulazione, non si avranno mai frange interne ad una distanza maggiore di *pz*. E per fermo, per tutt' i punti come *p'*, posti sull' asse *fz* e più lontani del punto *p*, la differenza degli spazj percorsi *p'b'* e *p'z* ovvero *p'b* e *p'z* sarà minore di una semi-ondulazione; e però di tutti gli scuotimenti inviati in *p'* dall' arco *zb* non ne sarà distrutto alcuno; lo stesso può dirsi di quelli portati allo stesso punto dall' arco *zb'*; inoltre la risultante del primo sarà cospirante con quella del secondo; vi sarà dunque una grande intensione di luce. Per la qual cosa al di là del punto *p* non si osserveranno mai frange oscure sull' asse *fz*.

Ora se nel punto *p* si faccia passare la linea indefinita *ph* parallela alle ugnature, e si determinino su questa i punti *s*, *s'*, *s''*, ec., pei quali le differenze degli spazj percorsi *sb'—sb*, *s'b'—s'b*, *s''b'—s''b*, ec. sieno rispettivamente 2, 4, 6, o generalmente un numero pari di semi-ondulazioni, questi punti *s*, *s'*, *s''*, ec. dinoteranno il mezzo delle frange oscure del primo, secondo, terzo ordine, ec. E per contro il mezzo delle frange lucide del primo, secondo, terzo ordine, ec. verrà dinotato dai punti *r*, *r'*, *r''*; ec. compresi tra i primi, e pei quali le differenze degli spazi percorsi *rb'—rb*, *r'b'—r'b*, *r''b'—r''b*, ec. sono rispettivamente 3, 5, 7, o in generale un numero dispari di semi-ondulazioni.

E per fermo se nel primo caso trattasi del punto *s'* per esempio, intendesi che la porzione *bzb'* dell' onda incidente può esser divisa, partendo dal punto *b*, in quattro parti tali che le distanze da *s'* alla fine della prima, seconda, terza e quarta, che termina in *b'*, superino *s'b* per una, due, tre e quattro semi-ondulazioni. Allora la risultante degli scuotimenti, che la prima parte manda in *s'*, sarà discordante con quella della seconda e dalla medesima distrutta, nell'atto che quella terza sarà, per la ragion medesima, distrutta da quella della quarta, onde il punto *s'* sarà nel mezzo della frangia oscura. Per lo punto *s* si dividerebbe l' arco *bzb'* in due parti, in sei pel punto *s''*, ec., e si farebbe lo stesso ragionamento.

Nel secondo caso se trattasi del punto *r'*, per esempio, intendesi che la parte *bzb'* dell' onda incidente possa esser divisa, partendo dal punto *b*, in cinque parti tali che le distanze di *r'* dalla fine della prima, seconda, terza, quarta e quinta che termina in *b'*, superino rispettivamente *s'b* per una, due, tre, quattro e cinque semi-ondulazioni. Allora la risultante degli scuotimenti che la prima parte manda in

r' sarà distrutta da quella della seconda, nell'atto che quella della terza sarà distrutta da quella della quarta; ma rimarrà quella della quinta, che verrà a rischiarare con tutta la sua forza il punto r'. Il punto r' dunque sarà il mezzo di una frangia brillante. Per lo punto r si dividerebbe l'arco bzb in tre parti, in sette per lo punto r'', ec., e si ragionerebbe come sopra.

Questa è la ragione onde s' ingenerano le *frange esterne* mercè anguste aperture.

Altro non ci rimane ora fuorchè indicare le leggi secondo le quali si svolgono.

Poichè i punti di mezzo delle frange oscure del primo ordine formano una serie di punti, le cui distanze da' punti b e b' son di due semi-ondulazioni; egli è chiaro che esse si trovano sopra due rami d' iperbole che ha per fuochi i punti b e b', e per asse maggiore una linea lunga quanto due semi-ondulazioni. Per la stessa ragione le frange de' varj ordini muovonsi secondo iperboli, i cui fuochi sono tuttavia in b e b', ed i cui assi maggiori sono rispettivamente lunghi quanto quattro, sei, otto, ec. semi-ondulazioni. Or queste iperboli confondonsi sensibilmente co' loro asintoti, ed è agevole il persuadersi, esprimendo con v la larghezza dell' apertura, e con d la lunghezza di una semi-ondulazione, che la tangente del l'angolo degli asintoti con l'asse delle frange sia $\frac{nd}{v}$; per le frange brillanti del 1°, 2° ordine ec., n sarà 2, 4, ec., e per le frange oscure sarà 1, 3, ec. Essendo gli angoli così piccioli da essere proporzionali alle tangenti, ne seguono le seguenti leggi:

1° La larghezza delle frange, ovvero l'intervallo tra i punti medi di due frange oscure consecutive, è in ragione inversa della larghezza dell' apertura;

2° Da ciascun lato dell' asse le frange oscure consecutive sono equidistanti, e la loro distanza è eguale a quella dell' asse dalla frangia oscura di primo ordine, o, che vale lo stesso, le distanze delle frange oscure dell'asse formano una progressione aritmetica, la cui ragione è eguale al primo termine;

3° Le assolute larghezze delle frange interne crescono in ragione della distanza da cui dietro l' apertura si ricevono;

4° Le assolute larghezze delle frange sono in ragione inversa della ragione di rifrazione del mezzo nel quale sono generate, imperocchè sono in ragione inversa delle onde, e noi abbiamo di sopra veduto che le lunghezze delle onde sono in ragione inversa delle ragioni di rifrazione.

Queste leggi, che così facilmente ricavansi dalla teoria di Fresnel, furono la prima volta fermate da Biot e da me in un nostro lavoro fatto nel 1815, intorno a' fenomeni di diffrazione; esse erano allora un semplice risultamento dell' esperienza; non ci riuscì di trovare alcuna teoria per la quale si legassero insieme e si rendesse ragione delle medesime, imperocchè noi seguivamo allora esclusivamente la dottrina dell' emissione, per la quale veramente non si dà ragione neppure di una minima circostanza de' fenomeni di diffrazione.

Frange interne. — Sia f il punto luminoso (*fig.* 265), b e b' le ugnature e p un punto preso sull' asse fzo ad una tal distanza che la differenza $pb-pz$ ovvero $pb'-pz$ sia di una semi-ondulazione. Abbiamo già osservato che al di là del punto p non vi sono più frange interne; ma facciamo conoscere che al di qua del punto p, cioè più presso all' apertura, sonovi sussecutivamente *sull' asse* delle frange oscure e brillanti. E per fermo, si comprende che vi siano de' punti s, s', s'' pe' quali le differenze $sb-sz$, o $sb'-sz$; $s'b-s'z$ o $s'b'-s'z$, $s''b-s''z$ o $s''b'-s''z$, ec. saranno rispettivamente 2, 4, 6, o generalmente un numero pari di semi-ondulazioni; e questi saranno i punti medi delle frange oscure, perocchè ciascuno degli scuotimenti, che ricevono dalle parti zb e zb' dell'onda incidente, è da se stesso distrutto. I punti al contrario r, r', ec., compresi tra i primi, son tali che le differenze $rb-rz$, o $rb'-rz$, $r'b-rz$, o $r'b'-r'z$, ec. sono di 3, 5, o generalmente di un numero dispari di semi-ondolazioni, e questi punti saranno nel mezzo delle frange brillanti, perocchè essi ricevono dalla parte degli archi bz e bz' degli scuotimenti concordanti, ognuno dei quali separatamente è atto ad illuminarli. Per la qual cosa la condizione della quale siamoci giovati di sopra, per determinare le distanze ove le frange esterne cominciano ad esser sole, ci da parimente i limiti, dai quali è mestieri partire, per osservare le frange interne avvicinandosi alle ugnature.

Per dar ora un'idea del numero e delle distanze delle frange interne, considereremo solo il caso in cui la luce incidente sia luce parallela. L' onda che cade sull' apertura essendo allora rappresentata dalla linea retta bb' (*fig.* 266), prendiamo sull' asse del fascio un punto p, in modo che la differenza $pb-pz$ o $pb'-pz$ sia un numero pari di semi-ondulazioni, dieci, per esempio. Questo punto p sarà il mezzo di una frangia oscura, perocchè ogni vibrazione degli archi zb e zb' si distrugge separatamente, quan-

tunque questa distruzione non sia totale. Pei punti vicini al punto p, e posti come questo sull'asse, ma più o meno vicini all'apertura, la differenza sarà di undici o di nove semi-ondulazioni; si avrà dunque luce, siccome abbiamo nell' antecedente figura osservato, ed il cammino che converrà fare per giungere a questi punti sarà tanto più breve, per quanto più distanti tra loro siano le ugnature. Ma fermiamoci al punto p, e procuriamo di rendere aperto che sulla linea orizzontale ph vi saranno presso il detto punto delle frange alternativamente brillanti ed oscure. Figuriamoci che sopra ph si prenda un punto s, determinato con la doppia condizione che le differenze $sb-sm$ ed $sb'-sm$ siano eguali a numeri pari di semi-ondulazioni; d'altronde di leggieri s' intende che coteste frange oscure saranno tanto più numerose e spesse, per quanto maggiore sia l'apertura, ed il punto luminoso e la linea ph più vicini alle ugnature: le frange brillanti per opposte saranno determinate dai punti r, pei quali le differenze $rb-rn$ ed $rb'-rn$ sono eguali a numeri dispari di semi-ondulazioni, perocchè questi punti riceveranno allora da ciascuna delle parti bn e $b'n$ dell' onda incidente delle vibrazioni cospiranti, ciascuna delle quali separatamente sarebbe atta ad illuminarli.

427. *Frange interne ed esterne.* — Affinchè nello stesso tempo si generino frange interne ed esterne, basterà che l' apertura sia tanto larga da far nascere le frange interne, e tanto stretta da far che le porzioni dell' onda, che toccano uno dei suoi orli, diono una risultante sensibile nell' ombra dell'altro. Sotto questa doppia condizione, ciascun sistema di frange è generato secondo le leggi che gli competono.

I principj di sopra esposti intorno alle notevoli modificazioni che la luce omogenea di un sol colore presenta, passando attraverso di aperture rettangolari, possonsi estendere a tutti i colori semplici in particolare, e però ad una qualunque luce composta, conciossiachè, in ogni mescuglio, ciascun colore elementare segue perfettamente quelle leggi, che seguirebbe se fosse solo.

Per comprovare tutto questo con l' esperienza, si adoperano le tavolette n° 1 o n° 2 sul primo sostegno e l'altra n° 8 sul secondo: siccome si può a piacimento variare l'apertura delle ugnature tanto tenendole parallele, quanto più o meno inclinate, così egli è agevole di far nascere i più svariati effetti: le frange si osservano da varie distanze col micrometro.

I piccoli buchi circolari presentano con la maggior semplicità un fenomeno, che riferma in un modo prontissimo il principio generale del quale di sopra è detto. Questo fenomeno è quello di una macchia nera nel centro dell'immagine, nell'asse del fascio luminoso che entra pel buco, quando quest' asse osservasi da tali distanze, che le differenze degli spazj percorsi, partendo dal punto luminoso, sull' asse medesimo e sulla linea spezzata, che passa per l'orlo dell'apertura, è uguale ad un numero pari di semi-ondulazioni. Se si esprimono per a e b le distanze dell'apertura al punto luminoso ed al filo del micrometro, e per r il raggio del foro, egli è agevole l'intendere che queste distanze b saran date dalla formola:

$$b = \frac{ar^2}{2\,mad - r^2}.$$

Cotesto risultamento si verifica in modo assai spiccato, ponendo sul primo sostegno una lente sferica di cortissimo fuoco, o un buco circolare di circa mezzo millimetro, e nel secondo sostegno un foro rotondo di circa un millimetro (tavoletta n° 7 *bis*); la distanza tra i sostegni dev' essere di 7 in 8 decimetri, e quella del micrometro dal secondo sostegno è data dalla formola antecedente; si numerano con facilità sino a 4 alternative corrispondenti ad $m = 1, 2, 3$, e 4.

428. *Frange generate da due aperture molto vicine.* — Il numero, la grandezza e la giacitura di queste frange s' inferisce agevolmente dai principj innanzi dichiarati. Esse si osservano ponendo le tavolette n° 1°, n° 2 sul primo sostegno, e sul secondo sostegno la tavoletta n° 13 per la luce artificiale e l'altra n° 12 per la luce solare. Questa esperienza, la quale fu fatta la prima volta dal dottor Young, gli offrì l'occasione di osservare l'andamento iperbolico delle frange: covrendo uno dei buchi con una lamina opaca, le frange spariranno, e spariranno anche coprendo un sol buco con una lastra diafana; ma le frange appariranno di nuovo, se questa lastra diafana copre entrambi i buchi.

Un' esperienza di questo genere fu la prima volta fatta da Grimaldi, facendo passar la luce attraverso due buchi rotondi, simili a quelli della tavoletta n° 14; e da questa esperienza fu indotto ad enunciare la fondamentale verità, che luce unita a luce fa tenebre.

429. *Frange generate per riflessione sulle lamine levigate.* — Quanto volte, dopo aver poste le tavolette n° 1 o 2 sul primo sostegno, si pongono sul secondo le altre n° 10 o 11, in modo che la riflessione sopra lo specchio si faccia in qualunque obbliquità, il fascio riflesso presenterà più o meno numerose frange. Egli è agevole l'intendere che il fascio riflesso (*fig.*

267) trovasi come se avesse obbliquamente attraversato un'apertura eguale alla larghezza dello specchio, e che però vi debbano essere frange interne, quando lo specchio è largo, e frange esterne, quando è bastantemente stretto.

430. *Frange e spettri generati dalle reticelle.* — Chiamasi *reticella* l'unione di piccoli spazj eguali atti a riflettere o trasmettere la luce, tramezzati da altri non riflettenti o opachi, anche tra loro eguali. Così dei *tratti* di diamante fatti ad eguali distanze sopra una lastra di vetro formano una reticella, quando sono molto vicini tra loro, come per esempio per $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{100}$ di millimetro: se questi son paralleli, parallela dicesi anche la reticella (*fig.* 269); se si tagliano ad angoli retti, dicesi a maglie quadrate ec. Simili tratti sopra una forbita lamina metallica formano anche una reticella, atta solo a riflettere la luce e non già a trasmetterla.

Frauenhofer è stato il primo a mettere in disamina gl'importanti fenomeni de' reticoli. Ecco la maniera onde egli faceva le sue osservazioni, ed i generali risultamenti delle sue ricerche.

La luce solare orizzontale riflessa dallo specchio di un eliostata, per piccol forame entra in una camera oscura: questo foro talvolta è rotondo, e talvolta è una fessura verticale fatta mercè due tavolette ad ugnature accomodate verso l'imposta. Alla distanza di 12 metri dall'imposta ponsi un teodolita, o altro strumento a cannocchiale orizzontale acconcio per la misura degli angoli. Noi supporremo che questo cannocchiale *l* (*fig.* 268) muovasi intorno di un asse verticale che passi per *v*, pochi pollici appresso all'obbiettivo; all' estremo punto di quest' asse, cioè sopra un piano fisso *pp'* per lo centro del quale esso passa, si accomoda la reticella *rr'* in modo che i suoi tratti siano verticali. Il fascio di luce bianca cade perpendicolarmente sulla reticella, l'attraversa e va a penetrare nell'obbiettivo del cannocchiale che non deve ricevere altra luce. Guardando allora dalla parte dell'oculare si vedrà il piacevole fenomeno descritto nella figura 270.

1° La fessura *a* dell' imposta apparisce nel mezzo illuminata da luce bianca, con gli orli perfettamente recisi, come se la reticella non vi fosse, e dall'una e dall'altra parte le apparenze sono perfettamente simmetriche.

2° Dopo la compiuta oscurità *t* che circonda l' immagine della fessura, comparisce uno spettro brillante *ch* avente dalla parte interna verso *h* il violetto, ed il rosso dalla parte esterna in *c*, ove termina in uno spazio oscuro *t'*.

3° Al di là di *t'* compariscono l' uno presso l' altro parecchi spettri di varia intensione i quali occupano gli spazj *h'c'*, ec. ed hanno tutti, siccome il primo, il violetto al di dentro ed il rosso al di fuori; solamente il rosso del secondo cade sul violetto del terzo, il rosso di questo sul violetto del quarto, ec.

4° Fra questi spettri quelli che sono molto allargati e brillanti presentano le stesse righe dello spettro solare comune; vi si osservano con grande chiarezza quelle righe principali da noi indicate con le lettere *c*, *d*, *e*, *f*, *g* (*fig.* 219) ma, e ciò è assai notevole, le rispettive distanze non sono più le stesse.

5° Se nei varj spettri si consideri la stessa riga, per esempio quella *f* (la quale è dinotata da *f'* nel primo, da *f''* nel secondo ec.) si trova che nel secondo la sua distanza dal mezzo *a* dell' immmagine totale è doppia di quello che è nel primo, poi tripla nel terzo, quadrupla nel quarto, ec.; d'onde chiaramente segue che gli stessi colori e le stesse righe occupano nel secondo spettro uno spazio doppio di quello che occupano nel primo, triplo nel terzo, quadruplo nel quarto, ec.

Tutti cotesti notevoli risultamenti sonosi avuti mercè sperienze e misure fatte con precisione grandissima.

Lo strumento di Frauenhofer era, siccome il micrometro di Fresnel, molto acconcio a determinare i piccoli angoli e le piccole distanze; ognun comprende che bastava far muovere il cannocchiale *l* fino a tanto che le varie righe venivano a coincidere con l' interno filo micrometrico. L'angolo *lvl'* percorso dal cannocchiale era l' angolo formato dal raggio diffratto col raggio diretto.

Il signor Babinet, il quale ha fatto molte importanti ricerche sulla luce, e particolarmente sulla dottrina delle vibrazioni, ha proposto un mezzo molto più semplice per misurare le distanze degli spettri di diversi ordini (*Annales de Phys. et de Chim.* tom. 40 pag. 169). In vece di una sola fessura nell'imposta, egli ne adopera due, le quali possono trovarsi più o meno vicine a piacimento (*fig.* 253); poi le osserva nello stesso tempo con la stessa reticella, che convenientemente avvicina o allontana, per far perfettamente coincidere le stesse righe cogli specchi omologhi, formate l'una a sinistra dell'apertura destra e l'altra a destra dell' apertura sinistra. Conoscendo la distanza che passa tra le due aperture, e quella che passa tra esse e la raticella, è agevole d'inferire l'angolo cercato (*fig.* 271).

Da ultimo Frauenhofer ha osservato due

altre notevolissime condizioni di questi fenomeni, cioè:

1° Che i deviamenti degli stessi colori, o meglio delle stesse righe *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, non dipendono nè dalla lunghezza dell'intervallo trasparente, nè da quella dell'intervallo opaco delle reticelle, ma solo dalla somma di queste due larghezze.

2° Che le grandezze assolute di questi deviamenti sono in ragione inversa dell'anzidetta somma di un intervallo trasparente e di un opaco; in modo che se in ciascuna reticella questa somma si moltiplichi per i deviamenti corrispondenti delle righe *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, si otterranno de'numeri costanti i quali si riproducono sempre in tutte le reticelle ed in tutte l'esperienze.

Ecco questi numeri trasformati in millimetri:

Lettere che indicano le righe o i raggi corrispondenti dello spettro solare.	Prodotto del deviamento per la somma degl'intervalli opachi e trasparenti in millionesimi di millimetro.	Lunghezza delle ondulazioni in millionesimi di millimetro.	Colori corrispondenti
b	688	645	Rosso estremo
c	656	596	Aranciato rosso
d	589	571	Giallo aranciato
e	526	532	Verde giallo
f	484	492	Turchino verde
g	429	459	Indaco turchino
h	393	439	Violetto indaco
		406	Violetto estremo

Nella terza colonna abbiam registrato i numeri dati da Fresnel per esprimere le lunghezze delle ondolazioni de' varî colori dello spettro, e se si ritorni alla figura 219, per osservare le tinte corrispondenti alle righe *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* ed *h*, si resterà maravigliato dell'ammirabile accordo che regna tra questi risultamenti. E per fermo la riga *d* cade presso il limite del giallo dell'aranciato, nell'atto che la riga *e* cade al limite del giallo e del verde, e tra i numeri di Fresnel e quelli di Frauenhofer passa appena una differenza di 6 milionesimi di millimetro. Così, senza saperlo, Frauenhofer determinava la lunghezza delle ondolazioni. Le notevoli differenze che osservansi tra gli altri numeri derivano dal che le righe corrispondenti non cadono ai limiti dei colori dello spettro, ed in parte dal che Frauenhofer ha potuto osservare verso gli estremi dello spettro e specialmente verso il violetto de'colori che dovevano essere del tutto insensibili nelle sperienze di Fresnel.

Dopo di avere esposto questi risultamenti tali quali sonosi avuti dall'esperienza, non sarà difficile di assegnarne la cagione. A me pare che Babinet (*Ann. de Phys. et de Chim.* tom. 40 pag. 169) sia stato il primo a rimenarne tutte le circostanze sotto semplicissime considerazioni.

Sia *rr'* la reticella (*fig.* 272), della quale *ab*, *cd*, *ef*, *gh* siano le parti opache, e *bc*, *de*, *fg*, ec. le trasparenti; supponiamola per maggiore semplicità molto lontana dalla fessura dell'imposta, affinchè i raggi bianchi incidenti possano essere considerati come paralleli; *z* sarà l'occhio dell'osservatore, e *zs* il raggio diretto: e poichè i fenomeni possono anche essere osservati ad occhio nudo, così supporremo che non vi sia il teodolite ed il cannocchiale.

Le somme di un intervallo opaco e di uno trasparente essendo picciolissime, ve ne sarà sempre una come *fh* per la quale la differenza *zh*—*zf* sarà precisamente due semi-ondolazioni di un certo colore, del violetto estremo, per esempio; e secondo questa direzione si vedrà il violetto estremo del primo spettro. E per fermo, se lo spazio *fh* fosse tutto aperto, la risultante delle vibrazioni che la porzione *fh* dell'onda invierebbe al punto *z* sarebbe nulla; ma lo spazio opaco *hg* arrestando le vibrazioni che distruggerebbero quelle dello spazio trasparente *gf*, s'intende che in *z* debba giungere luce violetta, e che ve ne giungerà più che nelle direzioni vicine *zd* e *zi*. Ma l'intensione di questa luce dipenderà necessariamente dalla ragion che passa tra la larghezza dello spazio opaco e quella dello spazio trasparente; il massimo accadrà quando questi spazj saran quasi eguali, imperocchè essendo *hg* minore di *fg* passerà una parte de'raggi discordanti, ed essendo *gh* maggiore di *fg*, sarà arrestata una parte de' raggi concordanti col raggio *zf*.

Se ora dal punto z come centro e col raggio zf si descriva un arco fo, questo considerato come una linea retta forma con fh un triangolo rettangolo foh simile al triangolo zhf; donde segue che l'angolo di deviamento fzh che esprimeremo con x è uguale all'angolo hfo, e però

$$\text{sen}x = \frac{ho}{hf},\ \text{ovvero sen.}x = \frac{d}{s},$$

esprimendo con s la somma di un intervallo opaco e di uno trasparente, e con d la lunghezza di un' ondolazione che è eguale ad ho. Ma cotesti deviamenti del primo spettro son così piccoli, che si possono prendere in vece de' loro seni; donde segue:

$$sx = d,$$

cioè che il deviamento moltiplicato per la somma di un intervallo opaco e di uno trasparente è eguale alla lunghezza di un'onda, siccome nell' antecedente tavola è dinotato.

Al di là di fh trovasi un altro intervallo opaco e trasparente, o trasparente ed opaco, in modo che le distanze di questi due estremi dal punto z avranno una differenza di quattro semi-ondolazioni. Sia np questo spazio: poichè $zp - zn$ è uguale a quattro semi-ondolazioni, lo spazio np si potrà dividere in quattro parti quasi uguali, in modo che le distanze dei punti di divisione dal punto z crescano successivamente di una semi-ondolazione; se queste quattro parti fossero penetrabili dalla luce, i raggi che passerebbero per la prima sarebbero discordanti con quelli della quarta, e si distruggerebbero egualmente. Laonde il punto z non riceverebbero luce alcuna in questa direzione, come non ne riceverebbe, se, di queste quattro parti, due consecutive fossero opache e le altre due trasparenti, se lo spazio opaco cioè della reticella fosse uguale al trasparente della stessa; ma all' infuori di questi casi il punto z sarà illuminato, e per questa direzione zp si vedrà appunto il violetto del secondo spettro.

Egli è agevole l' intendere, ch' esprimendo come sopra per x' l' angolo che zn fa con zs, si avrà:

$$\text{sen}x' = \frac{2d}{s},\ \text{ovvero } sx' = 2d.$$

Laonde rendendo cotesti risultamenti generali, lo stesso colore sarà generato da ritardamenti di 2 semi-ondolazioni per ln 1° spettro, di 4 per lo 2°, di 6 per lo 3°, ec.

Tutte le leggi fermate da Fraunhofer, delle quali di sopra è detto, sono conseguenze evidenti di cotesto fondamentale principio.

Se ora alcun si volesse rendere un conto preciso, non solo delle giaciture de' vari spettri, ma eziandio della intensione rispettiva dei loro colori, sarebbe mestieri far ricorso a calcoli più o meno intrigati, imperocchè ei potrebbe certamente accadere che, per certe proporzioni tra le larghezze degli spazi opachi e trasparenti, la luce recata al punto z fosse la somma di quella proveniente da molti interstizi vicini, e forse anche la giacitura del massimo d' intensione non è sempre quella, che corrisponde ad una differenza di un numero giusto di ondolazioni.

Tutto quello che abbiamo detto sulle reticelle, che operano per trasmissione, può dirsi benanche, senza difficoltà, di quelle che operassero per riflessione; donde s' intende la ragione di quei brillanti colori che osservansi su tutte le superficie levigate le quali sieno state regolarmente forbite.

Noi abbiamo notato che le righe dello spettro sono generalmente più o meno allargate quando lo spettro è generato da materie di diverso potere dispersivo: ne' fenomeni al contrario intorno ai quali ci siamo ora versati, gl' intervalli delle righe sono sempre proporzionali. Laonde lo spettro diffratto può essere riguardato come un tipo costante, o, direi, come uno *spettro normale* cui si posson paragonare le variabili dimensioni degli spettri che si hanno per diverse materie.

Dopo aver posto in disamina i fenomeni delle reticelle parallele, inutile sarebbe esporre alla spicciolata le apparenze che possono ingenerarsi mercè le varie maniere di reticelle a maglie. Ci terrem contenti di citar due esempi, che serviranno in pari tempo a dare un' idea de' brillanti colori che possonsi avere per tal mezzo, ed a fare intendere che i più intrigati e singolari fenomeni della luce derivan sempre dalle interferenze le quali seguono semplicissimi principj.

Reticelle a maglie quadrate. — Una reticella a maglie quadrate può aversi facilmente incrocicchiandone due parallele ed uguali ad angoli retti. Un tal sistema disposto verticalmente innanzi all'obbiettivo del cannocchiale, ed esposto alla luce solare ch'entra per piccol forame rotondo, presenta il brillante fenomeno descritto nella figura 273. Tutti i piccoli rettangoli simmetricamente distribuiti intorno all' immagine m del buco, sono altrettanti piccoli spettri più o meno allungati e più o meno separati tra loro. Notevole è il loro splendore, e sono tanti che non osiamo numerarli. Con un poco di pazienza e di cura si giungerà a render ragione di tutte le particolarità di questa esperienza, ch' è una delle più belle dell' ottica.

431 bis. *Reticelle a maglie rotonde.* — Indicheremo solo l'immagine che si ha ponendo innanzi all'obbiettivo del cannocchiale un diaframma forato da due buchi rotondi di 0mm; 6028 di diametro e la cui distanza da centro a centro sia di 1mm, 0371. Cotesta immagine è rappresentata nella figura 274.

Ciascuno de' piccoli compartimenti indicati sulla figura dinota il luogo di uno spettro, i cui colori sono generalmente vivi ed allargati.

Quando il numero de' buchi è maggiore, maggiore è anche il numero degli spettri; ma la loro distribuzione e l'ordine, sempre simmetrico, con cui si dispongono dipendono dalla grandezza de' buchi, dalla loro distanza e dalla loro distribuzione.

432. *Apparenze ne' fuochi de' cannocchiali.* — Quando si guarda una stella con un telescopio il quale abbia un ingrandimento che oltrepassa 200, si vede nel fuoco dell'istrumento una netta immagine della stella, la quale presenta un disco rotondo ad orli ben tagliati; indi vedesi intorno al disco una serie di anelli alternativamente oscuri e brillanti, i cui limiti sono lievemente colorati. Pare che questa osservazione fosse stata fatta la prima volta da W. Herschell, mercè i suoi grandiosi telescopi coi quali fece tante belle scoperte nel cielo.

Ponendo un diaframma innanzi all'obbiettivo per diminuirne l'apertura, l'immagine della stella cresce in larghezza, continuando per altro ad apparire perfettamente rotonda e terminata; si può anche in tal modo darle tutte le apparenze di un pianeta: basterà per esempio ridurre il diametro dell'apertura del diaframma a 2 o 3 centimetri, o presso a poco, per un cannocchiale che abbia 2 metri di distanza focale; nello stesso tempo gli anelli che circondano il disco si allargano e si colorano, e presentano successivamente tinte bianche, rosse, nere e turchine più o meno pallide.

Il signor Arago ha fatto quest'altra piacevole osservazione, che partendo dal fuoco, dove nettamente vedesi il disco e gli anelli, se l'oculare spiegasi in dentro gradatamente, il disco apparirà oscuro nel mezzo, indi nero perfettamente; poco appresso questa macchia nera si va dilatando, finchè comparisce un punto luminoso nel mezzo, il quale a sua posta dilatasi per dar luogo ad una nuova macchia nera, e si può in tal modo avere nel mezzo delle immagini molte alternative di ombre e di luce. Ma se l'oculare si fermi in una di quelle giaciture, per le quali il mezzo dell'immagine comparisce oscuro, vedrassi di tempo in tempo un altro punto brillante apparire per un momento nel mezzo della macchia nera; questo fenomeno accade solo nell'osservare le stelle *scintillanti*, e non mai osservando quelle tranquille, o che non presentano all'occhio nudo quei subiti cambiamenti di colori che formano la scintillazione.

J. Herscell ha fatto un gran numero d'importanti esperienze intorno ai fenomeni che osservansi ponendo innanzi all'obbiettivo dei grandi cannocchiali, diaframmi di varie forme semplici o moltiplici, composti cioè di un sol forame rotondo, quadrato, triangolare, anulare, ec., o composti di un gran numero di piccoli buchi eguali, simmetricamente ordinati intorno all'asse.

1° Con un buco a forma di triangolo equilatero l'immagine apparisce nel modo espresso nella (*fig.* 275), mostrasi cioè il disco della stella circondato da un anello nero, ed ornato di sei piccoli raggi dritti e molto luminosi. Tre di questi raggi corrispondono agli angoli del triangolo, e tre altri alle metà dei lati; i primi son composti di piccole frange *longitudinali*, e di piccole frange trasversali i secondi; il che rendesi più aperto quando, spingendo un poco indietro l'oculare, vedesi apparire il fenomeno dinotato dalla (*fig.* 276).

2° Con un buco anulare si hanno le apparenze dinotate dalle figure 277 e 278. La prima è l'immagine della *capra*, e la seconda è quella della doppia stella di *Castore*.

3° Con un'apertura nascente dall'intervallo che passa tra due quadrati concentrici, si ha l'apparenza significata dalla (*fig.*279). I quattro raggi che compongon la croce sono composti di macchie alternativamente brillanti ed oscure; le prime compariscono colorate dai colori dell'iride.

4° Mercè l'unione di piccoli triangoli equilateri regolarmente ordinati si ha il fenomeno della figura 280: una serie cioè di dischi circolari disposti sopra sei raggi eguali ed egualmente larghi, i quali partendo dal disco centrale presentano i vivi fenomeni dello spettro.

Tutti cotesti fenomeni sono sicuramente effetti d'interferenza. La luce è diffratta dagli orli dei diaframmi, i quali restringono o modificano l'apertura dell'obbiettivo; se in questo caso le frange interne possono essere generate da corpi molto meno stretti, o da molto più larghe aperture, ciò accade perchè la luce incidente converge più o meno, in vece di essere divergente o parallela, siccome abbiam supposto dichiarando i principi della diffrazione. Basterà dunque ricorrere a questi principi, quando si voglia render ragione degli effetti generati da un qualunque diaframma, posto in

una certa giacitura per rispetto all' obbiettivo di un cannocchiale, o allo specchio di un telescopio; solamente se in queste esperienze accade che l' immagine da un momento all'altro muti aspetto, se ne potrà concludere che gli effetti della scintillazione unisconsi a quelli della diffrazione del diaframma.

Spiegazione degli anelli colorati che si generano dalle lamine sottili o dalle lastre grosse.

433. *Generazione degli anelli colorati nelle lamine sottili.*—Tutt' i corpi diafani, ridotti in lamine sottilissime, compariscono leggiadramente colorati: cotesta proposizione generale si può rendere aperta per una moltitudine di esempi, tra i quali sceglieremo solo i seguenti.

Le bolle di vetro soffiate alla lampada, e gonfiate fino a che scoppiano, presentano in tutt' i loro frammenti i più vivi colori, i quali son cangianti come quelli delle piume di certi uccelli. Avviene lo stesso a' cristalli tagliati in sottilissime lamine. Le varie tinte onde si mostran colorate le superficie de' metalli ben forbiti, come per esempio il ferro e l' acciajo, per effetto del riscaldamento e del contatto dell' aria, dalla medesima cagione derivano: son le pellicole di ossido, le quali, perchè molto sottili, appariscono colorite. Anche i liquidi diventan colorati, siccome può vedersi nelle bolle di sapone e nelle gocce d'olio distese sull' acqua. L' aria finalmente, i vapori, i gas, generano gli stessi fenomeni: il che rendesi aperto ponendo un piano di vetro sopra una superficie convessa, come per esempio sopra una lente di 15 in 20 metri di raggio; si osserveranno allora intorno al punto di contatto degli anelli concentrici di varî colori perfettamente regolari, e questi compariranno solo dove la falda d' aria interposta tra i due vetri è sottilissima. Questo stesso apparato, posto sotto una campana contenente qualunque gas, i medesimi fenomeni presenta; ed aggiungi che essi appariscono egualmente nel vuoto: donde segue che anche le *sottili falde del vuoto* generano i colori del pari che le lamine sottili dei varî corpi.

434. *Leggi sperimentali degli anelli colorati poste da Newton.*

1a Legge. *In ogni materia i colori variano in ragion della grossezza della lamina e della obbliquità sotto la quale si guarda; ma in ogni caso spariscono se la lamina o troppo grossa o troppo sottile diventa.*

Per far variare la grossezza della falda che genera gli anelli, basta porre leggiermente la lastra superiore sulla lente inferiore, ed indi premere con maggior o minor forza; allora nella prima giacitura si osserverà una macchia centrale bianca o colorata, intorno alla quale si osserveranno de' ragunamenti di anelli di varî colori; continuando poi a guardare sotto la stessa obbliquità, si vedrà la sopraddetta macchia centrale cambiar colore, a misura che cresce la pressione, ossia la falda d' aria diventa più sottile. Sotto un certo grado di pressione la macchia centrale comparirà nera, e più o meno larga, ed è agevole il ravvisare che la sua larghezza divien maggiore, guardandola sotto una più grande obbliquità; e ciò basta per rendere aperto che i colori non solo spariscono, quando i due vetri si toccano, ma eziandio quando son vicini a toccarsi, ed appariscono finchè la falda d' aria abbia una sufficiente grossezza. Questo stesso può osservarsi nelle bolle di sapone: per effetto della gravità esse sono sempre più sottili dalla parte di sopra, e però dopo un certo tempo la lor sottigliezza è tale che non più compariscon colorate.

2a Legge. *I colori semplici generano anelli alternativamente brillanti ed oscuri: ne' varî colori gli anelli dello stesso ordine hanno diametri tanto più grandi, per quanto i colori onde nascono son meno rifrangibili.*

Il sistema dei vetri essendo convenientemente disposto ed illuminato dalla luce del cielo, se gli anelli si guardano attraverso di un vetro colorato, il quale non faccia passare altro che una luce semplice, come per esempio il rosso estremo, non più si vedranno intorno alla macchia centrale anelli di varî colori, ma solo una moltitudine di anelli alternativamente rossi e neri (*fig.* 281). Questi anelli sembrano unirsi ed assottigliarsi in ragion che più grande diventi il loro diametro, cioè a misura che sono più lontani dal centro. Premendo di più i vetri, la macchia centrale si vedrà andare replicatamente dal rosso al nero, e da questo a quello. Dicesi *anello brillante di primo ordine* quello che circonda la macchia centrale, quando essa è nera ed i vetri si toccano; indi anello del secondo ordine quello che vien dopo il primo, ec. Ma intendesi che l' anello del quarto ordine potrebbe essere il primo di quelli che veggonsi intorno alla macchia centrale: e per accader questo basterà che i vetri non si tocchino bene, e che la macchia nera non sia altro se non che l' anello nero del terzo ordine, venuto a collocarsi nel centro per cagione dell' allontanamento dei vetri.

Rimanendo i due vetri come prima, basterà illuminarli successivamente con tutt' i colori dello spettro, per rendersi certo che i colori

meno rifrangibili danno anelli più larghi, e che questi anelli per lo stesso ordine corrispondono per conseguenza a maggiori grossezze.

3ª Legge. *In una qualunque lamina sottile, le grossezze corrispondenti agli anelli brillanti di vari ordini seguono la serie dei numeri caffi* 1, 3, 5, 7, *ec., nell' atto che le grossezze corrispondenti agli anelli neri seguono la serie dei numeri pari* 0, 2, 4, 6, ec.

Sia *hlk'*(*fig.*282 e 283) la curvatura della lente convessa, *gtg'* la superficie inferiore del vetro parallelo posto sulla lente, ed *aa'*, *cc'*, *ee'* i diametri degli anelli del primo, del secondo ordine, ec.; le grossezze corrispondenti della lamina d' aria sono *ab*, *cd*, *ef*, *gh*. Ma *gh* per esempio è uguale a *tb*, e *gt* ossia $\frac{gg'}{2}$ è uguale ad *ht*, la quale è media proporzionale tra *tv* e $2r - tv$, chiamando *r* il raggio di curvatura della lente. Si ha dunque

$$gh(2r-tv)=\overline{gt}^2,\text{ ovvero } gh.2r=\overline{gt}^2,$$

essendo *tv* picciolissima per rispetto a $2r$. Dicasi lo stesso delle altre grossezze. Le grossezze dunque sono tra loro come i quadrati dei raggi o dei diametri degli anelli. Per la qual cosa misurando con un compasso i diametri degli anelli brillanti ed oscuri, dopo di aver premuti i vetri per farli toccare, si giunge a conoscere la giustezza della legge della quale di sopra è detto.

4ª Legge. *In due lamine di materie diverse, le grossezze che corrispondono agli anelli dello stesso ordine, generati dalla stessa luce, sono tra loro in ragione inversa degl' indici di rifrazione delle sopradette materie.*

Questa proposizione si può agevolmente dimostrare per rispetto all' aria e ad un liquido qualunque; per esempio acqua. E per questo basterà far comparire gli anelli nell' aria col solito metodo, indi introdurre tra i vetri una piccola goccia d' acqua; l' azione capillare spingerà tosto il liquido fino al punto in cui i vetri si toccano, e si avrà nello stesso tempo una sottile lamina d'acqua, dalla parte dove è entrato il liquido, ed una sottile lamina d' aria dalla parte opposta; queste lamine essendo della stessa grossezza, gli anelli non saranno egualmente lontani dal centro; nell' acqua appariranno più riuniti e più stretti. Basterà misurarli per rendersi certo che le grossezze, nelle quali si generano gli anelli dello stess'ordine, sono veramente tra loro in ragione inversa de' numeri 4 e 3, che rappresentano gl' indici di rifrazione dell' acqua e dell' aria.

435. Dopo che il Newton ebbe fermato coteste leggi sperimentali del fenomeno degli anelli colorati, giunse anche a misurare con somma precisione l'assoluta grossezza della lamina d' aria, che corrisponde all' anello brillante di primo ordine, per ciascun colore semplice. Siffatta determinazione è importante, imperciocchè di corto vedremo quali attinenze essa ha con la lunghezza delle onde luminose. Per venire a capo di tutto ciò, quel valentuomo pose un vetro piano sopra una lente convesso-convessa, le cui superficie erano state lavorate nella stessa forma; la principal distanza focale di questa lente era di 83po, 4, ed il suo indice di rifrazione di $\frac{17}{11}$. E però il diametro della sfera, cui coteste superficie appartenevano, era di 182 pollici inglesi. Ora noi abbiamo veduto che la grossezza corrispondente ad un anello qualunque è uguale al quadrato del raggio del medesimo diviso per lo diametro della sfera del vetro convesso; non resta a fare altro dunque che misurare con precisione il diametro di uno degli anelli. Newton trovò $\frac{1}{15}$ di pollice pel diametro del quinto anello oscuro, e quindi $\frac{1}{25 \times 182}$ ovvero $\frac{1}{4550}$ di pollice per la grossezza della lamina d'aria. È mestieri far due correzioni a questo valore, l'una derivante dalla rifrazione della luce attraverso del vetro di sopra, che avea un sesto di pollice di grossezza, l' altra derivante dall'obbliquità sotto la quale gli anelli si guardano, questa essendo necessaria solo quando vogliasi ridurre la grossezza a quella che è per l' anello guardato perpendicolarmente. Fatte queste correzioni, Newton trovò $\frac{1}{17800}$ per la grossezza della lamina d' aria nel mezzo dell' anello oscuro del quinto ordine; e poichè questa grossezza, in virtù delle antecedenti leggi, è decupla di quella del primo anello brillante; ne segue che l' assoluta grossezza della lamina di aria per lo primo anello brillante è di $\frac{1}{178000}$ di pollice inglese.

Cotesto valore appartiene alla luce semplice che forma il limite dell'aranciato e del giallo.

Le stesse osservazioni applicate agli altri colori conducono alla seguente tavola:

Tavola delle grossezze della lamina d'aria corrispondente al mezzo dell'anello brillante del primo ordine per ciascuno dei colori.

Nomi dei Colori.	Grossezza dell'aria in milionesimi di pollice inglese.	Grossezza dell'aria in milionesimi di millimetro.	Grossezze moltiplicate per 4 in milionesimi di millimetro.
Rosso estremo	6,341	161,15	645
Aranciato rosso	5,866	148,95	596
Giallo aranciato.	5,618	142,70	571
Verde giallo	5,237	133,01	532
Turchino verde	4,841	122,97	491
Indaco turchino	4,513	114,64	458
Violetto indaco	4,323	109,80	439
Violetto estremo	3,997	101,51	405

Da ultimo Newton avea data una formola per esprimer la legge, secondo la quale la grossezza cresce coll'obbliquità. Onde l'unione dei risultamenti, da lui avuti intorno al piacevole fenomeno degli anelli colorati, conduce alla soluzione della seguente quistione generale: Essendo data la ragione della rifrazione di una materia e la grossezza di essa, determinare la proporzione di ciascuno de'colori semplici che rifletterà sotto qualunque obbliquità; o, al contrario, essendo dato il colore, dedurne la ragion di rifrazione, conoscendo la grossezza, o la grossezza, conoscendo la ragion di rifrazione.

Dobbiamo anche aggiungere che per *trasmissione* si generano anelli simili a quelli generati per riflessione, sebbene alquanto più deboli. E per osservar questo, basterà porre i vetri tra l'occhio e la luce; allora, adoperando un colore semplice, è agevole di riconoscere che la grossezza della lamina che sembra nera per riflessione, è appunto quella colorata per trasmissione, ed al contrario. Gli anelli trasmessi seguono le stesse leggi dei riflessi; ma in ciascun punto d'una lamina sottile la tinta trasmessa è complementaria di quella riflessa.

436. *Degli accessi di facile riflessione e di facile trasmissione.* — Il Newton, avendo fermate le leggi sperimentali di tutt'i fenomeni che le lamine sottili presentano, ne compose una teorica divenuta celebre col nome di *teorica degli accessi*. Sarebbe ora superfluo di esporre cotesta teorica, come quella che strettamente congiungesi alla dottrina delle emissioni; ma ci par necessario di farne conoscere i principî, per rendere aperto quanto è difficile di generalizzare, o anche di esprimere i fatti senza mescolarvi niente d'ipotetico, e per far vedere eziandio che una dottrina scientifica, quantunque falsa, può condurre a risultamenti non lievi ed alla verità facilmente avvicinarci.

Poichè in una bolla di sapone, in una falda d'aria compresa tra due vetri, o in qualunque altra lamina sottile, rischiarata da luce omogenea, si vedono periodicamente per riflessione spazî oscuri, corrispondenti alle grossezze 0, 2, 4, 6, ec., e spazî brillanti, corrispondenti alle grossezze **1, 3, 5, 7**, ec., Newton espresse questo fatto dicendo: la luce ha degli *accessi di facile riflessione*, imperocchè riflettesi dopo di avere attraversato grossezze **1, 3, 5, 7**; ec., essa ha parimente *accessi di facile trasmissione*, imperocchè passa oltre dopo di avere attraversate grossezze **0, 2, 4, 6**, ec.; e queste due maniere di accessi sono della stessa lunghezza, ossia della stessa durata nello stesso mezzo, imperocchè accadono periodicamente ad eguali intervalli. Per la qual cosa seguendo col pensiere un raggio di luce semplice ax (*fig.* 284), che abbia attraversato la prima superficie ss' di un mezzo, per propagarsi nel suo interno da a verso x, è mestieri considerare che se esso entrando prende un accesso di facile trasmissione, questo andrà crescendo di a in m, ove giungerà al massimo, ed indi scemerà di m in b; allora comincerà l'accesso di facile riflessione, che giungerà al suo massimo in n, e che scemerà di n in c; indi tornerà un nuovo accesso di trasmissione, ricevendo consecutivamente le stesse fasi o gli stessi periodi di c in d, e poi un accesso di facile riflessione, di d in e, ec. Lo spazio che percorre il raggio durante un accesso *lunghezza dell'accesso* è chiamato; tutte coteste lunghezze ab, bc, ec. sono tra loro eguali.

Ciò posto, se il mezzo, la cui prima superficie è in ss', abbia una grossezza minore di ab, il raggio potrà passare oltre, perciocchè esso trovasi in un accesso di facile trasmissione incontrando la superficie, ed esso passerà tanto più facilmente, quanto sarà più vicino al mezzo

del suo accesso di trasmissione. Quel che accade per una grossezza minore di *ab*, accade similmente e per la stessa ragione per le grossezze comprese tra *ac* ed *ad*, *ae* ed *af*, ec. Ecco perchè una lamina sottile è nera sotto l' incidenza perpendicolare, quando la sua grossezza è minore della lunghezza di un accesso, ovvero quando la sua grossezza è uguale a 2 volte, 4 volte siffatta lunghezza, ec. E per contro se la grossezza della lamina sia uguale 1 volta, 3 volte, 5 volte, 7 volte alla lunghezza dell' accesso, ec., essa apparirà veramente colorata, imperciocchè il raggio nel momento in cui tocca la seconda superficie trovasi in un accesso di facile riflessione, ed è per conseguenza riflesso.

Nella stessa maniera la lunghezza degli accessi cresce con le obbliquità; e nelle materie diverse varia in ragione inversa degl' indici di rifrazioni. Questa è la teoria o piuttosto la ingegnosa ipotesi, mercè la quale il Newton ha concatenato con maraviglioso rigore tutt'i fenomeni che le lamine sottili presentano.

Per lungo tempo si è considerata questa ipotesi come una verità indubitabile della fisica. Non è essa, dicevasi, l' espressione generale di un fatto? Non è egli vero che la luce è alternativamente trasmessa e riflessa? Questo è vero; ma dicendo che la luce è alternativamente trasmessa e riflessa, fannosi esplicitamente due ipotesi, cioè che la luce è alternativamente trasmessa a certe grossezze, e ad altre alternativamente riflessa, e si fa oltre a ciò implicitamente una terza ipotesi, cioè che la prima superficie non prende alcuna parte nella generazione del fenomeno. Or noi renderemo aperto che veramente non vi sono nè trasmissioni nè riflessioni alternative, ma che gli anelli sono generati pel concorso di due riflessioni uniformi che avvengono alla prima o alla seconda superficie della lamine sottili.

437. *Teoria de' fenomeni delle lamine sottili secondo la dottrina delle ondulazioni.* — Fresnel ha espressa questa teoria in una maniera tanto semplice e concisa, che stimo esser giusto il riferirla con le stesse sue parole. Egli pone primieramente un principio fondamentale per rispetto alla direzione del moto delle onde riflesse, ed indi passa a render ragione del generarsi degli anelli.

» *Intorno alla direzione del moto nelle onde riflesse.* — Quando uno scuotimento propagasi in un corpo di uniforme densità ed elasticità, esso non ritorna giammai indietro, e nel trasfondersi alle nuove falde lascia le antecedenti in perfetta quiete. D' onde deriva che se una palla d'avorio ne urti un'altra a se eguale, darà a questa tutto il suo moto e rimarrà in quiete tosto che l' urto è avvenuto. Ma se la seconda palla abbia una massa maggiore della prima, questa tornerà indietro, e continuerà il suo moto innanzi, se quella che urta è di massa minore; per la qual cosa le nuove velocità della prima palla sono dopo l'urto di segno contrario nei due casi. Tutto questo ci può fare più agevolmente intendere quello che accade, quando un'onda giunge alla superficie in cui si toccano due mezzi di diversa elasticità e densità: la falda infinitamente sottile del primo mezzo, la quale tocca il secondo, e che possiamo paragonare alla prima palla, non riman punto in quiete, dopo di aver mosso la falda contigua del secondo mezzo, per cagion delle lor diverse masse, e si avrà riflessione; ma la nuova velocità di che, dopo l'urto, è la falda del primo mezzo animata, e che alle antecedenti successivamente si propaga, deve cambiar di segno, se la falda del secondo mezzo avrà maggior massa ovvero sarà della prima più densa.

» Questo importante principio scoperto da Young, mercè il ragionamento innanzi riferito, si ricava anche dalle formole che il Poisson ha trovato, mercè la sua profonda e rigorosa analisi; le quali applicate alla riflessione della luce fan vedere, che la velocità di oscillazione di un'onda è positiva o negativa, secondo che quest'onda è riflessa in dentro o in fuori del mezzo più denso; onde tutt' i corrispondenti moti di vibrazione saranno ne' due casi di segni contrari.

» Ciò posto, ritorniamo a' fenomeni degli anelli colorati, e supponghiamo per rendere i ragionamenti più semplici, che la luce si osservi sotto l' incidenza perpendicolare, o almeno in una direzione che poco se ne scosti: consideriamo un sistema di onde inviate dall'oggetto illuminato sulla prima superficie della lamina d'aria, cioè sulla seconda superficie del primo vetro; quello che diremo di questo potrà dirsi degli altri sistemi di onde: quando esso giunge alla superficie di separazione del vetro e dell'aria, soffre una riflessione parziale, che diminuisce alquanto l'intensione della luce trasmessa nella lamina d'aria e fa nascere al di dentro del primo vetro un altro sistema di onde, la cui intensione, come si sa, è assai meno di quella della luce trasmessa: in modo che questa essendo pochissimo indebolita per siffatta prima riflessione, genera, arrivando alla seconda superficie della lamina d' aria, un secondo sistema di onde riflesse di una intensione, quasi eguale a quella delle onde che vengono dalla prima riflessione; ecco perchè la

loro interferenza genera colori così vivi nella luce bianca, e nella luce omogenea anelli brillanti ed oscuri tanto spiccati.

» Le due superficie della lamina d'aria essendo sensibilmente parallele intorno al punto di toccamento, ove si generano gli anelli colorati, i due sistemi d'onde seguiranno lo stesso sentiero; ma quello che è stato riflesso alla seconda superficie si troverà in ritardo relativamente all'altro, e d'una quantità eguale al doppio della grossezza della lamina d'aria che per due volte ha attraversata. È mestieri anche avvertire che passa tra essi un'altra differenza, ed è che il primo è stato riflesso *in dentro* del vetro ossia del mezzo più denso, nell'atto che l'altro lo è stato *in fuori* del vetro di sotto; d'onde segue, secondo il principio di sopra fermato, una opposizione ne' moti vibratori. Laonde quando, in ragion della differenza degli spazi percorsi, i due sistemi d'onde dovrebbero essere di accordo, compiere cioè i lor moti vibratori per lo stesso verso, ne inferiremo all'opposto che essi sono in perfetta discordanza; e per contro, quando la differenza degli spazi percorsi indicherà una intera discordanza, noi concluderemo che i lor moti oscillatori sono in accordo perfetto. Ciò posto, agevole riuscirà il determinare la giacitura degli anelli oscuri e brillanti.

» Ed in prima il punto di toccamento, in cui la grossezza della lamina d'aria è nulla, non generando alcuna differenza di cammino tra i due sistemi d'onde, dovrebbe porre un perfetto accordo tra le loro vibrazioni; laonde, poiché per ragion dell'opposizione del segno, è mestieri prendere il contrario, le loro vibrazioni saranno in perfetta discordanza, ed il punto di toccamento guardato per riflessione presenterà una macchia nera. Coll'allontanarsi da questo, cresce la grossezza della lamina d'aria. Fermiamoci nel punto in cui la sua grossezza sia eguale ad un quarto di onda; la differenza degli spazi percorsi sarà di una semi ondulazione, la quale corrisponde ad una compiuta discordanza, e però i sistemi di onde saranno in perfetto accordo; sarà dunque questo il punto più illuminato del primo anello brillante. Quando la grossezza della lamina d'aria eguaglierà la metà dell'ondulazione, la differenza degli spazi percorsi essendo eguale ad un'ondulazione, il che corrisponde all'accordo perfetto, vi sarà intera discordanza, e questo punto sarà il mezzo di un anello oscuro. Ragionando in simil guisa, è agevole intendere che generalmente i punti più foschi degli anelli oscuri corrispondono a grossezze della lamina dell'aria eguali a

$$0,\ \frac{2}{4}d,\ \frac{4}{4}d,\ \frac{6}{4}d,\ \frac{8}{4}d,\ \frac{10}{4}d,\ \text{ec.}$$

ed i punti più illuminati degli anelli brillanti a grossezze

$$\frac{1}{4}d,\ \frac{3}{4}d,\ \frac{5}{4}d,\ \frac{7}{4}d,\ \frac{9}{4}d,\ \frac{11}{4}d,\ \text{ec.}$$

d essendo la lunghezza di un'onda luminosa nell'aria. Se la quarta parte di questa lunghezza prendasi per unità, le grossezze della lamina d'aria, corrispondenti ai massimi e minimi di luce riflessa, danno i seguenti numeri:

Anelli oscuri: 0, 2, 4, 6, 8, 10, ec.

Anelli brillanti: 1, 3, 5, 7, 9, 11, ec.

» Ognun comprende che questa unità, ovvero la quarta parte di un'onda luminosa, è precisamente la lunghezza di ciò che Newton chiamava *accessi delle molecole luminose*. Per la qual cosa moltiplicando per 4 le misure che egli ha date per le sette principali specie di raggi semplici, hannosi le corrispondenti lunghezze delle loro ondulazioni. Trovansi per tal modo gli stessi risultamenti che avrebbonsi, misurando la lunghezza delle onde, o mercè le frange degli specchi, o gli svariati fenomeni della diffrazione. (*Vedi la tavola a pag. 114 e 127*). Questa numerica medesimezza che il dottor Young ha prima di tutti notata, pone tra gli anelli colorati e la diffrazione della luce un'intima connessione, ch'era sfuggita fino allora ai fisici che seguitavano la dottrina dell'emissioni, e non poteva esser renduta aperta se non per la teoria delle vibrazioni.

» Secondo l'esperienza di Arago sullo spostamento che ricevono le frange generate dall'interferenza di due fasci luminosi, quando uno di questi ha attraversato una lamina sottile, abbiam veduto che le ondulazioni luminose eran rendute più brevi in questa lamina, secondo la ragione del seno di rifrazione a quello d'incidenza, per lo passaggio della luce dall'aria nella lamina. Questo principio è generale, ed estendesi a tutt'i corpi rifrattivi, qualunque sia la natura dei medesimi: così, per esempio, la lunghezza di un'ondulazione della luce nell'aria sta alla lunghezza dell'ondulazione nell'acqua, come il seno dell'angolo d'incidenza de' raggi, che passano obbliquamente dall'aria nell'acqua, sta al seno del loro angolo di rifrazione. Per conseguenza se tra i due vetri che si toccano, e che presentano degli anelli colorati, introducasi dell'acqua, questa farà le veci della lamina d'aria, e le ondulazioni in essa diverranno più brevi, secondo la ragione di sopra detta, le grossezze di que-

ste due lamine che riflettono gli stessi anelli saranno tra loro in ragione del seno d' incidenza al seno di rifrazione, per lo passaggio della luce dall' aria nell' acqua. Questo è appunto ciò che Newton avea per esperienza ritrovato, paragonando i diametri degli anelli generati in ambi i casi, d' onde per mezzo del calcolo ricavò le corrispondenti grossezze. Cotesta notevole connessione che passa tra i fenomeni di diffrazione, di riflessione, e degli anelli colorati, che per nulla deriva dall' ipotesi dell' emissione, avrebbe potuto essere espressa da prima per la teoria delle ondulazioni, per la quale i seni degli angoli d' incidenza e di rifrazione debbono essere necessariamente proporzionali alla velocità di propagazione, ovvero alle lunghezze delle ondulazioni della luce nei due mezzi.

» Dopo di aver renduta ragione della generazione degli anelli riflessi per la interferenza de' raggi che riflettonsi alla prima e alla seconda superficie della lamina d' aria, Young ha dimostrato che gli anelli molto più deboli, che veggonsi per trasmissione, derivano dall' interferenza dei raggi trasmessi direttamente con quelli che lo sono dopo due consecutive riflessioni, e che dovevano per conseguenza essere complementari degli anelli riflessi, siccome per esperienza è manifesto. Crediamo inutile il trattenerci in questa spiegazione la quale è simile all' antecedente; farem solo notare che l' estrema languidezza degli anelli, trasmessi sotto l'incidenza perpendicolare, deriva dalla gran differenza d' intensità dei due sistemi d' onde che li generano.

» Ometteremo anche di trattare degli anelli riflessi sotto incidenze oblique, e ci terrem contenti di dire, che la teoria spiega perchè i loro diametri crescono con l' obbliquità, e che la semplicissima formola, alla quale ella conduce, rappresenta i fatti con precisione, almeno finchè le obbliquità non sieno molto grandi; quando i raggi, che penetrano nella lamina d'aria, sono assai inclinati, i risultamenti del calcolo non son più conformi alle misure del Newton. Ma è probabile che cotesta anomalia derivi dal che le comuni leggi della rifrazione, secondo le quali la formola è calcolata, patiscono qualche modificazione ne' passaggi molto obbliqui dei raggi tra due superficie tanto vicine ».

» Abbiamo finora considerati solo gli anelli generati dalla luce semplice; ma con ragionamenti simili agli antecedenti che innanzi abbiam fatti per le frange, nell' esperienza dei due specchi, sarà agevole inferire quello che accader debba con la luce bianca. La disamina per altro di questo fenomeno trovasi con tutte le sue particolarità esposta nell' ottica di Newton, il quale è stato il primo a dimostrare, che l' effetto generato dalla luce bianca risulta sempre dalla unione degli effetti dei raggi colorati, ond' essa è composta ».

438. *Colori generati dalle lamine grosse.* — Se un raggio solare entri in una camera oscura per un forame rotondo di 4 in 5 millimetri di diametro, e cada sopra uno specchio concavo *mm'* (*fig.* 285) di vetro amalgamato, che lo riceva nella direzione dell' incidenza, si vedranno intorno al foro molti luminosissimi anelli sopra un cartone bianco all' uopo disposto. Questo fenomeno, che è uno dei più belli dell'ottica, fu scoperto ed osservato dal Newton.

Quando la luce incidente è di color semplice, rossa per esempio, gli anelli sono alternativamente oscuri e rossi senza verun'altra tinta: se ne possono allora numerare fino a 12 o 15, adoperando ogni diligenza a rendere perfettamente buio il luogo dell' osservazione. Quando la luce incidente è bianca, gli anelli mostrano tutte le tinte degli anelli colorati delle lamine sottili.

Cotesti anelli prendono la maggiore intensione, quando la distanza, tra il cartone e lo specchio, è uguale al raggio di quest'ultimo, o in altri termini, quando la immagine riflessa del foro ricade sul medesimo e gli è perfettamente uguale in grandezza. Per distanze minori o maggiori tra il cartone e lo specchio, i colori degli anelli sembrano molto più deboli e tiniscono col dileguarsi compiutamente.

Con uno specchio intanto, terso e ben forbito, gli anelli sono sempre più o meno languidi; e per far che diventino più lucidi è mestieri appannare un poco la superficie dello specchio, o soffiandovi sopra, o spargendovi qualche polvere finissima, come farina per esempio, o da ultimo covrendolo di un velo sottilissimo di latte allungato nell' acqua, che disseccato vi resta unito. Questa singolare circostanza era sfuggita al Newton.

Quando lo specchio si volge alquanto dalla giacitura di sopra indicata, in modo che l'immagine riflessa del forame cada a qualche distanza dal forame stesso, come per esempio di 3 in 4 centimetri o anche di più, ancora si osservano anelli circolari (*fig.* 286) a segno da poterne numerare parecchi ordini; ma il lor comune centro è allora nel mezzo della linea che congiunge il foro e la sua immagine, ed intorno a questo centro comparisce una macchia più o meno larga che muta d'aspetto, quando l'immagine del buco riflesso dallo specchio vien trasportata oltre. Essa nella luce

omogenea è alternativamente oscura e brillante, nell'atto che nella luce bianca passa rapidamente per un'infinità di tinte.

Tali sono le apparenze generali del fenomeno detto delle *lamine grosse*, perciocchè la grandezza degli anelli deriva dalla grossezza dello specchio, quando il raggio di curvatura è lo stesso.

Newton per molte esperienze ingegnosamente variate sopra specchi di diversi raggi e di diverse grossezze, mercè misure precise degli anelli di varî colori, giunse a fermare le seguenti leggi:

1° In qualunque luce omogenea i quadrati dei diametri seguono la serie de numeri pari 0, 2, 4, 6, ec., per gli anelli brillanti, e la serie de' numeri caffi 1, 3, 5, 7, ec., per gli anelli oscuri;

2° Con uno stesso specchio posto alla stessa distanza, i diametri degli anelli dello stesso ordine van decrescendo nei diversi colori dal rosso fino al violetto, e serban tra loro le stesse ragioni degli anelli formati nelle lamine sottili;

3° I diametri degli anelli dello stesso colore e dello stess'ordine formati con ispecchi dello stesso raggio e di grossezze diverse, sono reciprocamente proporzionali alle radici quadrate delle grossezze degli specchi.

Coteste leggi del tutto sperimentali sono assai giuste. Io le ho verificate insieme con Biot, non solo sopra specchi a superficie concentriche, ma eziandio con molti specchi le cui superficie avean diversissimi raggi di curvatura.

Ecco un altro metodo di far nascere i fenomeni delle lamine grosse; esso fu ideato dal duca di Chaulnes nel 1755 (*Mém. de l' Académie des sciences*). In vece dello specchio di vetro adopràsi uno specchio di metallo (*fig.* 287), ponendolo anche in modo che l'apertura coincida o quasi coincida col suo centro; ma ad una certa distanza, ponsi innanzi ad esso una lamina parallela di vetro, per esempio, di mica, di solfato di calce, badando di appannare con latte l'una e l'altra delle sue superficie. Ottengonsi allora anelli colorati perfettamente simili agli antecedenti, i quali perciò vanno soggetti alle stesse leggi. La grossezza dello specchio in questo caso è la falda d'aria compresa tra la lamina trasparente e la superficie concava dello specchio, e questa grossezza si può a piacimento variare.

Avvi finalmente un terzo metodo, anche più semplice, per far nascere lo stesso fenomeno. Io ebbi occasione di osservarlo nel 1816 (*Ann. de Phys. et de chim*, 1816). Uno specchio concavo di metallo disponsi come nelle esperienze del duca di Chaulnes, ed in vece di porre innanzi al medesimo una lamina trasparente, vi si pone una lamina opaca, con un buco tanto piccolo, che i suoi orli s'incontrino co' raggi incidenti e quindi co' raggi riflessi (*fig.* 288); veggonsi allora degli anelli intorno al cartone, posto all' apertura dell' imposta, come nelle esperienze di Newton e del duca di Chaulnes, sebbene meno spiccati e però ancor meno numerosi. La irregolarità del buco della lamina opaca non altera sensibilmente la figura circolare degli anelli: essi tengonsi gli stessi per aperture circolari, quadrate, triangolari, o anche per figure di rettangoli stretti e molto allungati. Ho anche osservato, che, presentando un semplice orlo rettilineo al fascio presso allo specchio, appariscono eziandio gli anelli colorati, ma non vi si discerne bene se non una sola metà della loro circonferenza.

439. Newton dalla teorica degli accessi seppe ricavare una spiegazione de' colori generati dagli specchi di vetro. Il Biot estese questa spiegazione a' colori generati dagli specchi metallici con una lamina trasparente, secondo il metodo del duca di Chaulnes; ma per congiungere alla stessa teorica i fatti da me osservati ponendo delle lamine opache bucate innanzi alli specchi, era mestieri ricorrere ad ipotesi intrigate e poco probabili, nell'atto che con la dottrina delle vibrazioni, di tutti questi fenomeni, che sono dello stesso genere, si rende ragione con lo stesso principio, siccome verrem dimostrando.

Sia c il centro dello specchio (*fig.* 289); $cb=r'$ e $ca=r$, i raggi di curvatura di sua seconda e prima superficie; $e=ab=r-r'$, la sua grossezza. Nel punto a sulla prima superficie la luce soffre una *diffusione*, per la imperfetta levigatezza; i raggi che ne risultano cadano sulla seconda superficie, divergendo come se partissero dallo stesso punto a, e riflettonsi su questa seconda superficie, come se partissero da un certo punto l, la cui giacitura può essere facilmente ritrovata. E per fermo, il punto l è il fuoco coniugato del punto a, per rispetto alla superficie b, e la formola degli specchi dà

$$bl=\frac{er}{2e-r}, \text{ ovvero } bl=-e,$$

perciocchè $2e$ può esser trascurato per rispetto ad r. Cotesti raggi riflessi vanno a cadere sulla prima superficie ap, ove rifrangonsi uscendo nell'aria, e dopo la rifrazione trovansi come se partissero da un certo punto t la cui giacitura si determina mercè la formola delle

tenti d'indefinita grossezza, la quale dà

$$at = \frac{2er'}{nr' + 2e(1-n)}, \text{ ossia } at = \frac{2e}{n}.$$

Questi raggi, uscendo dalla superficie ap, soffrono una nuova diffusione, simile a quella che ricevettero nell'entrare, e divergono per ogni verso; ma la loro intensione è molto più grande a cagione delle piccole inclinazioni.

I raggi emergenti, che non seguono la riflessione e la rifrazion regolare sono dunque di due maniere: alcuni che han ricevuto solo la diffusione di entrata, e che trovansi come se avesser corso lo spazio $at+tn$; altri che han sofferto la doppia diffusione di entrata e di uscita, e che trovansi come sè avesser percorso lo spazio $at+ta+am$. Poichè le loro vibrazioni erano concordanti nel punto a, donde noi computiamo la loro partenza, così ne segue che nel punto m, sul cartone che circonda il buco d'incidenza, essi saran concordanti o discordanti, secondochè la differenza degli spazi percorsi sarà un numero pari o dispari di semi-ondulazioni. Essendo d'altronde tutto simmetrico intorno al fascio centrale ca, ne risulterà evidentemente una serie d'anelli oscuri e brillanti, i quali avranno tutti il punto c per centro, e i cui diametri agevolmente si potranno trovare. È per fermo la differenza degli spazi percorsi è $at+ta+am-at-tm$, ovvero $at+am-tm$.

Abbiamo già veduto che $at = \frac{2e}{n}$; e chiamando y il raggio incognito cm dell'anello, il triangolo cam dà

$$am = \sqrt{(r-e)^2 + y^2} = r - e + \frac{y^2}{2(r-e)}.$$

Il triangolo ctm dà parimente:

$$tm = \sqrt{\left(r + \frac{2e}{n} - e\right)^2 + y^2} = r + \frac{2e}{n} - e + \frac{y^2}{2\left(r + \frac{2e}{n} - e\right)};$$

donde approssimativamente risulta $\frac{ey^2}{nr^2}$ per la differenza degli spazj percorsi; e se questa suppongasi eguale ad m volte la lunghezza λ di una semi-ondolazione, se ne ricaverà finalmente pel diametro delli $2y$ anelli de' vari ordini:

$$2y = 2r\sqrt{\frac{m\lambda n}{e}}.$$

Ponendo in vece di m la serie dei numeri pari 2, 4, 6, ec., ovvero la serie dei numeri caffi 1, 3, 5, ec., si avrà la serie degli anelli brillanti o quella degli anelli oscuri. Questa espressione riproduce fedelmente le tre leggi di sopra enunciate; intendesi dippiù che essa non dipende dal raggio di curvatura della prima superficie, il che è conforme alle nostre esperienze: per applicarla alle osservazioni del duca di Chaolnes, ed a quelle da me fatte con le lamine opache, basterà fare $n=1$, e prendere per e la distanza del piano dallo specchio.

In tutte le cose antecedenti noi abbiamo considerato solo un sottilissimo pennello incidente; ma è agevole d'intendere che gli stessi ragionamenti si applicano ai pennelli di grandezza finita, quale per esempio è quello che viene sullo specchio per un'apertura centrale del diametro di 4 in 5 millimetri. Allora non è più la parte interna del fascio incidente quella che è efficace, ma lo è specialmente la parte esterna. Se suppongasi, per esempio, che l'apertura abbia 5 millimetri di diametro, la esterna circonferenza del fascio ne avrà più di 15; e la porzion diffusa di questa luce, la quale è ripartita intorno al centro per generarvi gli anelli dei varj ordini, è quella che prende in tal modo più grande chiarezza di quella che avrebbe, se fosse formata da un pennello centrale assai piccolo. La grandezza dell'apertura non è donque indifferente per lo diametro degli anelli.

In quanto alla distanza dallo specchio, nella quale gli anelli prendono maggiore vivacità, sembrami che possa variare entro limiti molto estesi; rappresentandola per d, la formola più generale del diametro degli anelli è

$$2y = 2d\sqrt{\frac{m\lambda n}{e}}.$$

Queste formole potrannosi agevolmente estendere al caso della riflessione obbliqua, e render ragione di tutte le apparenze, che gli anelli allora presentano, tanto con la luce semplice, quanto con la luce composta.

Delle lamine grosse.

Quando gli anelli delle lamine grosse sono generati nelle più opportune congiunture, egli è agevole il misurarli con precisione, ed avere un semplicissimo mezzo di conoscere le lunghezze delle onde corrispondenti alle varie maniere di luce. Eccone un esempio ricavato

dalle molte esperienze ch' io feci un tempo unitamente al Biot e che trovansi registrate nel suo Trattato di Fisica. La grossezza del vetro essendo 2,34, e la distanza del cartone 2178, noi trovammo 63, 107 e 143 pei diametri degli anelli neri de' tre primi ordini, 88 e 125 per quelli de' due primi lucidi, la luce essendo il rosso estremo, ed il millimetro essendo preso per unità; calcolando i valori di λ che ne risultano, si trovano in milionesimi di millimetro i seguenti numeri, 324 .. 316 .. 312.. 319.. 331, il cui medio è 321, il quale da 612 per la lunghezza dell'intera onda, invece di 645 che appartiene al rosso più estremo.

440. I principî che veniam dichiarando giovane a dar ragione di molti simili fenomeni, de'quali ci ristringeremo solo a citare qualche esempio.

Il Babinet ha osservato che un fascio di luce convergente ingenera degli anelli, quando vi si pone in mezzo una lamina rifrattiva, le cui superficie sieno lievemente spalmate di latte allungato nell' acqua e poi asciugato, o di vernice di destrina (*fig.* 290): la luce diffusa dalla prima superficie *as* incontrandosi con quella della stessa onda, diffusa dalla seconda superficie *os*, ne nasce interferenza, ed il diametro $2y$ degli anelli sarà qui dato dalla formola

$$2y=2d\sqrt{\frac{2m\lambda n}{e}}\,.$$

Il fattore $\sqrt{2}$ si ha perchè qui non v'ha riflessione interna, e la luce non attraversa due volte ma una sola la grossezza e. Ponendo invece della lamina rifrattiva due sottili lamine di mica, parallele e distanti tra loro per quant' era la grossezza e, lo stesso effetto si ottiene, e si avranno i diametri facendo $n=1$ nell' antecedente formola.

Colori generati da una lamina grossa ed una superficie piana di riflessione. — La lamina di vetro *ab* a facce parallele, o pochissimo inclinate, la quale abbia parecchi millimetri di grossezza; è disposta (*fig.* 291) al di sopra di una forbita lamina metallica *ml* quasi parallelamente alla stessa; a traverso della lamina *ab* si guarda sopra *ml* l' immagine riflessa di un foro fatto nell'imposta di una camera oscura, e rischiarata solo dalla luce delle nubi; quest' immagine si vedrà colorata da tinte più o meno forti, tra le quali si discernerà specialmente il rosso ed il verde; questi colori sono generati dall' interferenza de' raggi che passano direttamente, e da quelli che sono stati riflessi nella lamina.

Colori generati da due lamine di eguali grossezze, lievemente fra loro inclinate. — Se il foro della camera oscura si guardi a traverso un sistema di lamine eguali e parallele, la prima delle quali sia perpendicolare al raggio incidente e l' ultima dolcemente inclinata, si vedranno parecchie immagini del foro: la prima, ch' è la diretta, è chiara e senza colori; le altre, che sono più o meno sviate, son deboli e coperte di zone più o meno larghe, le quali mostrano tutti i colori degli anelli.

Nella figura 292 osservasi un piccolo strumento ordinato a render regolare cotesto fenomeno. Ad uno degli estremi di un tubo, lungo 25 in 30 centimetri, trovasi una fessura di circa un centimetro di larghezza per la quale passa la luce delle nubi, ed all' altro estremo van messe due lamine a facce parallele, la prima delle quali è fissa, nell'atto che l'altra mobile a *cerniera*, è spinta mercè il bottone *b*, in modo che riducasi a far con la prima un angolo gradatamente più picciolo; in quello che l' angolo s'impicciolisce, le frange fannosi più larghe e meno numerose: si è indicato il cammino de' raggi per far vedere quelli tra i quali v'ha interferenza.

Eriometro del dottor Young. — Quando la fiamma di una candela si guarda attraverso di un piccol fiocco di fili finissimi ed incrocicchiati in mille direzioni, veggonsi intorno alla fiamma degli anelli colorati quasi simili agli *aloni* che si osservano talvolta intorno al sole o alla luna. I fiocchi di lana, di seta, di cotone, i peli degli animali, ed ogni altra maniera di fili, generano cotesto fenomeno in modo assai spiccato. Dicasi lo stesso delle polveri sottilissime sparse sopra lamine di vetro, in modo da non prendervi molta grossezza. Il dottor Young essendo stato il primo ad osservare con metodo un cosiffatto fenomeno, se n'è ingegnosamente giovato per fare uno strumento ordinato a misurare le grossezze delle fibbre molto sottili, o i diametri de' picciolissimi globetti, come quelli de' globuli del sangue, del latte o della fecola. Ed a questo strumento ha dato il nome di *eriometro.*

L'eriometro è composto di un tubo nel quale muovesi una lamina circolare di cartone o metallo annerito, con un buco rotondo nel centro, di circa mezzo millimetro di diametro; intorno a questo buco, alla distanza di otto in dieci millimetri, se ne fanno alcuni altri stretti per quanto più è possibile. Ponendo l' occhio dietro questa lamina per guardare una fiamma molto viva, come quella di un lume alla Carcel, si vedrà distintamente il buco centrale e gli altri finissimi; questi essendo posti

sulla stessa circonferenza ; servon come di punti fissi co' quali si deve far coincidere uno degli anelli de' corpi sottili assoggettati all'esperienza. Per la qual cosa questi corpi pongonsi all'estremo del tubo dalla parte dell'occhio, ed attraverso del loro tessuto guardasi l'apertura centrale, che apparisce circondata dall'alone. Se l'anello che si è scelto pec servire al confronto delle misure abbraccia la circonferenza de' punti fissi, si avvicina la lamina, e nel caso contrario si allontana; quando poi si è avuta la perfetta coincidenza tra questi punti e l'anello, si legge sul tubo la distanza della lamina. Il dottor Young pone che i diametri de' corpi sottilissimi sono in ragione inversa di coteste distanze. E però, secondo questa regola, basterà conoscere la grandezza di uno di questi corpi per sapere tutte le altre.

PARTE SECONDA

LUCE POLARIZZATA.

CAPO PRIMO.

DOPPIA RIFRAZIONE.

141. *Fenomeno generale di doppia rifrazione.* — Dicesi che la luce in una materia riceve la doppia rifrazione, quando penetrandovi *un sol fascio* di luce incidente naturale s'ingenerano *due fasci rifratti.*

Le materie che hanno questa maniera di azione sulla luce diconsi *doppiamente rifrattive*: tale per esempio è il carbonato di calce cristallizzato; ossia lo *spato d' Islanda*, che si ha talvolta sotto la forma di un romboide allungato (*fig.* 393). E per fermo, se tenendo questo romboide innanzi all'occhio si guardi un corpo sottile, come per esempio una spilla, se ne vedranno due distinte immagini più o meno lontane tra loro ; e se si faccia girare il romboide nel suo piano, finchè compia una intera rivoluzione, le due immagini percorreranno del pari un'intera circonferenza. Lo stesso fenomeno osservasi, ponendo il romboide sopra un foglio di carta bianca sul quale sian segnate delle divisioni; che anzi, dando a queste la figura di triangolo (*fig.* 294), siccome fece il Malus, se n'è ricavato un metodo semplicissimo per misurare il deviamento dei raggi: imperocchè, se sulla superior superficie del cristallo (*fig.* 295) si segni il punto *i* di emergenza del raggio, che reca all'occhio *o* la doppia immagine del punto *a* della scala graduata, egli è chiaro che un raggio partito dall'occhio e diretto secondo *oi*, entrando nel cristallo, dividerebbesi in due, uno andando al punto *a* della prima immagine, l'altro al punto omologo *a'* della seconda. Conoscendo allora la distanza *aa'* della scala (*fig.* 294) e la sua giacitura sulla seconda superficie del cristallo (*fig.* 295), se ne potrà ricavare l'angolo *aia'*. Facendo queste osservazioni con un cerchio graduato, verticale, fornito di cannocchiale, si può anche determinare l'angolo d'incidenza e di emergenza *oin*, ed ottenere così una precisione grandissima.

La luce del sole si partisce in questo romboide come quella delle nubi, imperocchè in una camera oscura si hanno due immagini del sole mettendo il romboide all'apertura dell'imposta, e sopra di esso dirigendo il fascio riflesso dallo specchio dell'eliostata.

Tutti i cristalli la cui forma primitiva non sia il cubo o l'ottaedro regolare, ingenerano la doppia rifrazione, siccome lo spato d'Islanda, o in modo quasi simile; ma tutti questi cristalli van distinti in due varietà di ordini, cristalli ad *un asse* e cristalli a *due assi*. Ecco la ragione di questa divisione.

In un cristallo dotato di doppia rifrazione v'ha sempre *una* o *due direzioni*, secondo le quali il raggio *non si divide mai*. Queste notevoli direzioni diconsi *assi ottici*, o semplicemente *assi* del cristallo; esse hanno sempre

una certa simmetria per rispetto alle facce naturali della figura del cristallo.

I cristalli ne' quali la luce per una sola direzione non si divide, diconsi *cristalli ad un asse*.

I cristalli che hanno due direzioni per le quali la luce non si divide, diconsi *cristalli a due assi*.

Pare che non vi possano essere cristalli regolari che abbiano più di due assi.

Ci faremo sussecutivamente a discorrere de' cristalli ad uno e a due assi.

442. *De' cristalli ad un asse e della loro sezione principale.* — Prenderemo anche per esempio il carbonato di calce, che è un cristallo ad un asse; la *forma primitiva* di questo corpo è un romboide rappresentato nella figura 296: vale a dire, che un cristallo di carbonato di calce può sempre esser considerato, sia qualunque la sua forma, come composto di un' infinità di molecole di figura romboidale disposte parallelamente le une presso le altre. L'assoluta grandezza di queste molecole non è punto determinata, ma si sa essere esse estremamente piccole.

La linea ax, che unisce gli angoli ottusi di uno di questi romboidi, è detta *asse cristallografico*. Per la qual cosa in qualunque cristallo v'ha un' infinità di assi, perocchè v' ha una infinità di molecole; ma tutti questi assi son paralleli, perchè parallelamente le molecole sono disposte, purchè i cristalli non siano confusi. Per conoscere dunque l'asse di un dato cristallo, basterà sempre determinare la giacitura di una delle primitive molecole costituenti. Or l'esperienza ha renduta aperta questa legge generale, che pare senza eccezione, cioè che ne'cristalli ad un asse, l'asse di doppia rifrazione, ovvero l'asse ottico, coincide sempre con l' asse cristallografico. Per verificare questo risultamento sul carbonato di calce, si può tagliare una lamina, le cui due facce sian perpendicolari all' asse cristallografico ax, (*fig.* 293 e 296), e si riconoscerà veramente che il fascio non si divide giammai, quando attraversa la lamina perpendicolarmente alle sue facce, cioè quando attraversa il cristallo secondo il suo asse cristallografico t; ma se il raggio cade obbliquamente, non entrerà più secondo l'asse, ma si dividerà facendo vedere due immagini.

Si può anche tagliare un prisma di carbonato di calce in modo, che l'asse cristallografico ax (*fig.* 297) sia contenuto nella sezione bdc del prisma, e faccia col suo lato db un angolo tanto piccolo, che un certo raggio incidente is possa penetrare nella direzione dell'asse: allora questo raggio non si dividerà, e se il prisma è renduto acromatico per un altro prisma di vetro dcp, il raggio emergente sarà, come l'incidente, semplice e senza colore. Ma altri raggi più o meno inclinati di is, non dovendo più penetrare secondo la direzione ix dell'asse, riceveranno sempre una divisione interna, e faran vedere due immagini più o meno separate. Laonde sia qualunque l'obbliquità del raggio incidente, o che esso entri per una faccia naturale o per una faccia artificiale, non soffrirà mai la doppia rifrazione, se entra nel cristallo secondo l'asse del medesimo.

La legge della quale di sopra è detto si può nello stesso modo verificare per tutti gli altri cristalli ad un asse: quando un raggio di luce non va secondo l' asse del cristallo, de' due raggi in cui questo si partisce, ve n' ha uno che segue sempre le leggi generali della rifrazione, ma l'altro fa eccezione alle medesime, il suo piano di rifrazione cioè non è lo stesso di quello d'incidenza, ed il seno d' incidenza e rifrazione non sono più in una ragione costante. Chiamasi il primo *raggio ordinario*, *raggio straordinario* il secondo.

Il cammino del raggio ordinario non presentando alcuna difficoltà, dobbiam solo discorrere di quello del raggio straordinario, ed indicheremo dapprima due tagli del cristallo ne'quali la direzione di questo raggio è assai notevole. Questi tagli sono la *sezione principale* e la *sezione perpendicolare all' asse*.

1° *Sezione principale.* — Ne'cristalli ad un asse la sezione principale è il piano che passa per l' asse perpendicolarmente a qualunque faccia naturale o artificiale; e però la sezione principale appartiene piuttosto ad una faccia che all' intero cristallo, imperocchè ciascuna faccia ha la sua. Or si trova, per esperienza, che il raggio straordinario resta come l' ordinario nel piano d' incidenza, ogni qualvolta coincide col prolungamento della sezione principale: in questa particolar congiuntura il raggio straordinario segue la prima legge generale della rifrazione, e si eccettua solo dalla seconda. Per rendersi certi di questo fatto, basterà far volgere nel suo piano un cristallo a facce parallele, e seguire il moto dell' immagine straordinaria: si vedrà che nel cerchio che questa descrive intorno l' immagine ordinaria, essa passa due volte nel piano d'incidenza, e che cotesto fenomeno accade, quando l'anzidetto piano coincide con la sezione principale della faccia d'ingresso.

2° *Sezione perpendicolare all' asse.* — Dicesi sezione perpendicolare all'asse ogni piano che si consideri passare entro il cristallo per-

pendicolare all'asse del medesimo. Or quando un raggio naturale ha una tal sezione per piano d'incidenza, il raggio ordinario e quello straordinario che ne nascono hanno del pari questa sezione per piano di rifrazione. Laonde in questi casi il raggio straordinario ubbidisce anche alla seconda legge, cioè che in questa sezione il seno d'incidenza e di rifrazione conservano una ragione costante per tutte le obbliquità d'incidenza. Questa ragione è l'indice di rifrazione straordinaria.

Nel sistema dell'emissione i cristalli si eran chiamati *ripulsivi* o *attrattivi*, secondo che l'indice ordinario risultava maggiore o minore di quello straordinario; poichè di fatto, la rifrazione, in questo sistema, essendo prodotta dall'attrazione che i corpi esercitano sulle molecole della luce, può dirsi che le molecole luminose del raggio straordinario, nel primo caso, sono meno attirate, e nel secondo caso più attirate di quelle del raggio ordinario. Ma nel sistema delle ondulazioni, la rifrazione essendo un cangiamento di velocità, dipendente da un simile cangiamento di elasticità o di densità nell'etere del secondo mezzo, e la velocità essendo tanto minore per quanto l'indice di rifrazione è maggiore, Fresnel (*Supplément à la Chimie de Thompson*, pag. 90) fu condotto a dare il nome di cristalli *negativi* a quelli che si eran chiamati ripulsivi, e quello di cristalli *positivi* a quei distinti col nome di cristalli attrattivi; e ciò con ragione, poichè, nel primo caso la differenza delle velocità ordinaria e straordinaria è *negativa*, e nel secondo caso è *positiva*.

Laonde i cristalli ad un asse vengon ripartiti in due generi secondo la seguente tabella:

Tavola de' cristalli ad un asse.

NEGATIVI.

Carbonato di calce (spato d'Islanda)
Carbonato di calce e di magnesia
Carbonato di calce e di ferro
Turmalina
Rubellite
Corindo
Zaffiro
Rubino
Smeraldo
Idroclorato di calce
Idroclorato di strontiana
Sotto-fosfato di potassa
Solfato di nikel e di rame
Cinabro
Mellite
Molibdato di piombo
Berillo (1)
Apatite
Idrocrasio (vesuviano)
Vernerite
Mica (di Kariat)
Fosfato di piombo
Fosfato di piombo arseniato
Idrato di strontiana
Arseniato di potassa
Ottoedrite
Prussiato di potassa
Fosfato di calce
Arseniato di piombo
Arseniato di rame
Nefelina

POSITIVI.

Zirconia
Quarzo
Ossido di ferro
Tungstato di zinco
Stannite
Boracite
Apofilite
Solfato di potassa e di ferro
Sopraccetato di rame e di calce
Idrato di magnesia
Cristallo
Iposolfato di calce
Diaptaso
Argento rosso

443. *Cristalli a due assi.* — Abbiam di sopra veduto, che la qualità propria de' cristalli a due assi è di presentare due sole direzioni e non più, secondo le quali il raggio naturale incidente può penetrarli senza partirsi in due. Cotesti assi non possono più esser definiti in modo semplice ed agevole per mezzo dell'asse cristallografico; ma è chiaro che conosciuti una volta i due assi rispettivamente ad un punto di na materia cristallizzata, le due linee condotte parallelamente a questi assi, per un altro punto qualunque, saranno gli assi per rispetto a questo.

Fresnel ha scoperto mercè la teorica, e rifermato con l'esperienza, che ne' cristalli a due assi non v' ha più raggio ordinario, cioè che nessuno de' due raggi, in cui l'incidente si divide, ubbidisce alle leggi della rifrazione. Il cammino dunque della luce è in questo caso più intrigato che ne' cristalli ad un asse.

Indicherémo intanto due tagli pe' quali la quistione più semplice si rende.

(1) *Acqua marina.*

1° *Taglio perpendicolare alla linea media.* — Supponghiamo che px e px' (*fig.* 298) dinotino i due assi di un cristallo: l'angolo xpx' sia l'angolo di questi assi; la linea pm che divide quest' angolo in due parti eguali, sarà la *linea media* o *intermedia* che dir si voglia; il piano perpendicolare a pm dà una sezione nel cristallo per la quale uno de' due raggi si uniforma alle leggi generali della rifrazione.

2° *Taglio perpendicolare alla linea supplementaria* — Il piano perpendicolare alla linea ps che dicesi *supplementaria* (imperocchè divide in due parti eguali il supplemento dell'angolo degli assi) (*fig.* 298), determina nel cristallo una sezione per la quale l'altro de' due raggi, che nascono da un raggio incidente, si conforma alle leggi generali della rifrazione.

Mercè questi due tagli, si potranno dunque determinare gl' indici di rifrazione de' due raggi, che sono analoghi all' ordinario e straordinario de' cristalli ad un asse.

Ecco la tavola de' cristalli a due assi:

Tavola de' cristalli a due assi.

NOMI DELLE SOSTANZE	ANGOLI DEGLI ASSI	
Solfato di nichel (alcune mostre)	3°	0'
Solfo-carbonato di piombo	»	»
Carbonato di stronziana	6	56
Carbonato di barite	»	»
Nitrato di potassa	5	20
Mica (alcune mostre)	6	0
Talco	7	24
Perla	11	28
Idrato di barite	13	18
Mica (alcune mostre)	14	0
Arragonite	18	18
Prussiato di potassa	19	24
Mica (alcune mostre)	25	0
Cimofano	27	51
Anidrite	28	7
Borace	28	42
Mica (mostre esaminate da Biot)	30	0
	31	0
	32	0
	31	0
	37	0
Apofilite	35	8
Solfato di magnesia	37	24
Solfato di barite	37	40
Spermaceto (circa)	37	42
Borace nativo	38	48
Nitrato di zinco	40	0
Stilbite	41	42
Solfato di nikel	42	4
Carbonato di ammoniaca	43	24
Solfato di zinco	44	28
Anidrite (esaminata da Biot)	44	24
Mica	45	0
Lepidolite	45	0
Benzoato d'ammoniaca	45	8
Solfato di soda e di magnesia	46	49
Solfato di ammoniaca	49	42
Topazio del Brasile	49 a 50	0
Zucchero	50	0
Solfato di stronziana	50	0
Solfo-idroclorato di magnesia e di ferro	51	16
Solfato di magnesia e di ammoniaca	51	22
Fosfato di soda	55	20
Comptonite	56	6
Solfato di calce	60	0
Ossinitrato di argento	62	16
Iolite	62	50
Feldspato	63	
Topazio (Aberdenshire)	65	
Solfato di potassa	67	
Carbonato di soda	70	1
Acetato di piombo	70	25
Acido citrico	70	29
Tartrato di potassa	71	20
Acido tartrico	79	0
Tartrato di potassa e di soda	80	0
Carbonato di potassa	80	30
Cianite	81	48
Clorato di potassa	82	0
Epidoto	84	19
Idroclorato di rame	84	30
Peridoto	87	56
Acido succinico	90	
Solfato di ferro	90.	

441. *Leggi generali della doppia rifrazione nei cristalli ad uno e a due assi.* — Se per un dato punto, dentro del cristallo, s' immaginino delle linee condotte per ogni possibile direzione, egli è manifesto che un raggio di luce può passare per questo punto, seguendo sussecutivamente ciascuna di queste direzioni. In un cristallo ad un asse, il raggio ordinario avrà sempre la stesssa velocità, sia qualunque la direzione che prende, nell' atto che il raggio straordinario avrà un infinità di velocità comprese tra due limiti determinati. In un cristallo a due assi varieranno con le direzioni, tanto per l' uno quanto per l' altro de' due raggi generati dalla doppia rifrazione, e secondo diverse leggi. Huyghens è l'autore di una elegantissima descrizione geometrica per la quale si hanno in pari tempo tutte le velocità del raggio straordinario, e tutte le sue giaciture corrispondenti per rispetto al raggio ordinario; ma questa descrizione non è applicabile

se non che ai cristalli ad un asse. Gli effetti più intrigati dei cristalli a due assi restavano imperfettamente espressi, tanto per la legge di **Huyghèns**, quanto per le modificazioni più o meno ingegnose, che alla medesima erasi procurato di arrecare, quando l'ingegno di **Fresnel** giunse a scoprire nello stesso tempo, quasi in un sol pensiere, la cagione della polarizzazione, quella della doppia rifrazione, e la legge generale di questi fenomeni in tutti i cristalli. Fu questa certamente una delle più luminose scoperte di cui siasi fatta ricca la scienza.

Per non anticipare ciò che spetta alla polarizzazione, ci terrem contenti di esprimere qui le velocità de' due raggi provenienti dalla doppia rifrazione; coteste velocità possono essere espresse nel seguente modo, traducendo in linguaggio algebrico la descrizione di Fresnel:

$$v^2 = d^2 + (d'^2 - d^2)\ \text{sen}^2\ \tfrac{1}{2}\ (a'-a)$$

$$v'^2 = d^2 + (d'^2 - d^2)\ \text{sen}^2\ \tfrac{1}{2}\ (a'+a):$$

v velocità ordinaria, v' velocità estraordinaria, a angolo del raggio col primo asse, a' angolo del raggio col secondo asse: d, pei cristalli ad un asse, velocità ordinaria; pei cristalli a due assi, velocità costante nella sezione perpendicolare alla linea supplementaria: d', pe' cristalli ad un asse, velocità straordinaria; pei cristalli a due assi, velocità costante nella sezione perpendicolare alla linea mèdia.

Per far meglio intendere le anzidette formole, le applicheremo ad alcuni casi particolari.

1° *Cristalli ad un asse.*—Quando i due assi riduconsi ad un solo, gli angoli a ed a' che il raggio fa con ciascuno degli assi riduconsi parimenti ad uno, e si ha semplicemente:

$$v^2 = d^2$$
$$v'^2 = d^2 + (d'^2 - d^2)\ \text{sen}^2\ a,$$

onde la velocità ordinaria v è costante in tutte le direzioni, ed è sempre eguale a d; nell'atto che la velocità straordinaria v' dipende dall'angolo a, che il raggio straordinario fa con l'asse.

Quando questo raggio è nella sezione perpendicolare all'asse, si ha

$$a = 90^\circ,\ \text{sen}^2 a = 1,\ \text{e}\ v' = d'$$

e però la velocità straordinaria è costante.

Quando esso muovesi parallelamente all'asse, si ha

$$a = 0,\ \text{sen}^2 a = 0,\ \text{e}\ v' = d$$

e però in questa direzione solamente la velocità straordinaria diventa eguale all'ordinaria.

Questi due valori di d' e di d sono i due limiti della velocità straordinaria, l'uno dinotante il massimo, e l'altro il minimo della stessa.

Nella dottrina delle vibrazioni, che noi seguitiamo, l'indice di rifrazione non è altro che la ragion diretta della velocità; e se esprimeremo per 1 la velocità della luce nel vuoto, $\frac{1}{d'}$ sarà l'indice di rifrazione del raggio straordinario, nella sezione perpendicolare all'asse, nell'atto che $\frac{1}{d}$ sarà l'indice di frazione del raggio ordinario; il distintivo dei cristalli negativi sarà dunque $d' > d$, e quello dei cristalli positivi $d' < d$.

Nel primo caso $d'^2 - d^2$, coefficiente di $\text{sen}^2 a$, è positivo, ed il massimo di v' corrisponde al caso in cui si ha $\text{sen}^2 a = 1$, ovvero $a = 90^\circ$, nell'atto che il minimo corrisponde a $\text{sen}^2 a = 0$, ovvero ad $a = 0$. Nel secondo caso al contrario $d'^2 - d^2$ è negativo, ed il minimo di v' corrisponde ad $a = 90^\circ$, ed il massimo ad $a = 0$.

Il raggio straordinario adunque acquista la sua minore o maggior velocità propagandosi secondo l'asse e nella sezione perpendicolare all'asse, nell'atto che pei cristalli negativi il massimo si ha nella sezione perpendicolare all'asse ed il minimo secondo l'asse; il che è l'opposto dei cristalli positivi.

2° *Cristalli a due assi.*—Quando il raggio è compreso nella sezione perpendicolare alla linea supplementaria ps (*fig.* 298) egli è chiaro che fa sempre due angoli eguali con ciascuno degli assi px, px'; e però $a = a'$, e v^2 riducesi a

$$v^2 = d^2,\ \text{ovvero}\ v = d.$$

Per la qual cosa d è in questo caso, siccome di sopra è detto, l'espressione della velocità, e perciò noi diremo *velocità ordinarie* tutte quelle che hannosi dai varj valori di v.

Quando per l'opposto il raggio si muove nella sezione perpendicolare alla linea media pm, la somma degli angoli a ed a' è sempre eguale a due angoli retti, donde segue

$$v'^2 = d'^2,\ \text{ovvero}\ v' = d'.$$

E però noi abbiam detto che d' rappresenta la velocità del raggio in questa sezione, e diremo in conseguenza *velocità straordinarie* tutte quelle che si hanno dai valori di v'.

Quando d' è maggiore di d, il minimo della velocità ordinaria ha luogo per $a' = a$ o per $v = d$, ed il massimo quando $a' - a$ è il più

grande possibile, il che accade nel piano degli assi.

Il minimo diventa massimo, ed al contrario, quando d è maggiore di d'.

Il massimo ed il minimo del raggio straordinario corrispondono anche a $v' = d'$, e per conseguenza al caso in cui il raggio è nel piano dell' asse; ma essi cambian parimenti di ordine quando d' è maggiore o minore di d.

Si può anche osservare che, in ogni caso, la differenza dei quadrati delle velocità è espressa dalla seguente formola:

$$v'^2 - v^2 = (d'^2 - d^2) \text{ sen } a' \text{ sen } a,$$

cioè i due raggi ordinario e straordinario, quando hanno una direzione comune, le differenze dei quadrati delle loro velocità sono proporzionali al prodotto dei seni degli angoli, che ciascun di essi fa coi due assi. Questa osservazione era stata fatta da Brewster e da Biot, prima che Fresnel avesse indicata la sola legge che comprende il fenomeno in tutta la sua estensione.

445. *Varie sperienze di doppia rifrazione.* — Indicheremo qui qualcheduna delle molte esperienze che possonsi fare, per avvezzar la mente a seguire il moto della luce nei cristalli a doppia rifrazione.

1° *Sperienza di Monge.* Guardando la doppia immagine di un oggetto b, posta ad una certa distanza al di sotto della superficie inferiore di un romboide (*fig.* 299), e facendo passare una carta innanzi a questa superficie, si resterà maravigliato in vedere che, se essa vien da sinistra a destra, la prima immagine che dietro d' essa si occulta è quella della destra, ed al contrario. Cotesto fenomeno deriva dal che i fasci oo' ed ee', che recan all'occhio p l'impressione delle immagini ordinaria e straordinaria, s'incrociano dentro del cristallo per la loro inegnale rifrangibilità, e della loro ineguale incidenza sulla superficie ff'. Il fascio straordinario venendo per brr' non giunge all' occhio del pari che l' ordinario che viene per bxx'.

2° *Sperienze intorno al luogo apparente delle immagini.* — Ponendo l'occhio vicinissimo alla superficie di sopra di un romboide, e guardando pe' punti vicinissimi alla superficie di sotto, tanto fuori del cristallo come sarebbero de' segni sulla carta, quanto al di dentro come per esempio delle macchie proprie al cristallo medesimo, si vedrà una delle immagini di uno stesso punto più vicina dell' altra; e questa è l' immagine ordinaria, imperciocchè nello spato d' Islanda, come che negativo, l' indice ordinario oltrepassa lo straordinario.

3° *Apparecchio di Soleil per distinguere i cristalli positivi da' cristalli negativi.* — Sopra la metà superiore di un prisma di vetro o di cristallo, di un conveniente angolo s' incolli un primo prisma di quarzo, e sulla metà inferiore se ne incolli un secondo dello stesso angolo. Il tutto forma una specie di parallelepipedo. Ma la luce prova delle modificazioni differenti, secondo che essa attraversa la metà superiore o la inferiore; imperocchè, nella prima, l' asse del quarzo è disposta perpendicolarmente alla faccia d' ingresso della luce, e, nel secondo caso, l' asse del quarzo è, per contrario, parallela alle facce del prisma, e, per conseguenza, parallela alla lunghezza del parallelepipedo, che supporremo verticale. Da ciò risulta che guardando un oggetto delicato e verticale, posto a qualche decimetro di distanza, e ponendo l' occhio all' altezza della sezione che separa i due prismi di quarzo, si osserva il fenomeno seguente: l' *immagine*, veduta dalla parte superiore del parallepipedo, è semplice, quella veduta dalla parte inferiore è doppia; ma una di esse è posta sul prolungamento della prima, ed è l' *immagine ordinaria*; l' altra, per conseguenza, è l' *immagine straordinaria.* Or dalla giacitura di questa per rispetto alla prima si può giudicare se il quarzo è positivo o negativo. E per fermo, i raggi che provengono dall' obbietto che si guarda cadendo perpendicolarmente sulla faccia d' ingresso, non si separano nel prisma; ma ciò non impedisce che abbiano indici di rifrazione diversi, e tanto diversi per quanto è possibile, perocchè è questa una sezione perpendicolare all'asse; essi dunque presentansi in diverse condizioni sulla faccia obbliqua del prisma di vetro. Il quarzo essendo *positivo*, il suo indice straordinario è maggiore dell' ordinario; e però passando nel vetro deve avvicinarsi alla perpendicolare più del raggio ordinario, o anche allontanarsene di più secondo che l' indice di rifrazione del vetro sia esso stesso minore o maggiore dell' indice ordinario del quarzo. L' opposto si avverrebbe per un cristallo negativo. Basterà dunque conoscere l' indice ordinario del cristallo e l' indice della sostanza con cui si acromatizza, per giudicare mercè l' antecedente sperienza se il cristallo è positivo o negativo.

4° *Sperienze de' romboidi soprapposti e dei prismi birifrangenti.* — Quando due romboidi soprappongonsi per guardare un oggetto attraverso di entrambi riuniti, ne nascono i seguenti fenomeni: se le sezioni principali di questi romboidi siano parallele o perpendicolari, si vedranno solo due immagini del-

l'oggetto, come se si guardasse con un sol romboide; ma in tutte le altre rispettive giaciture delle due sezioni principali vedrannosi quattro immagini diversamente intense.

Da tutto ciò è forza conchiudere che i due raggi (l'ordinario cioè e lo straordinario), che escono da un primo romboide, hanno una proprietà che li distingue essenzialmente da un raggio di luce naturale, imperocchè questo dà sempre due immagini eguali, quando attraversa un romboide.

Per mettere meglio in disamina questa distintiva proprietà, si può fare uso della luce solare e porre il secondo romboide assai lungi dal primo, per operare separatamente sopra i suoi raggi ordinario e straordinario, che da esso derivano.

Allora si conoscerà: 1° che se le sezioni principali sono parallele, il raggio ordinario del primo cristallo si rifrange per intero *ordinariamente* nel secondo, e che il raggio straordinario si rifrange anche tutto *straordinariamente*; 2° che se le sezioni principali sono perpendicolari, il *raggio ordinario* del primo cristallo si rifrange tutto quanto straordinariamente nel secondo, nell' atto che il *raggio straordinario* tutto intero ordinariamente si rifrange; 3° che se le sezioni principali siano tra loro inclinate per 45°, ciascuno de' raggi ordinario e straordinario del primo cristallo si divide nel secondo in due fasci eguali; 4° che nelle altre rispettive giaciture delle due sezioni principali ciascun fascio del primo cristallo ne fa nascere due disuguali nel secondo. In tutte l'esperienze di questa natura ai romboidi possonsi sostituire de' prismi di carbonato di calce o di cristallo di rocca, renduti acromatici col vetro, e questi noi li diremo prismi a *doppia rifrazione*. Essi debbono essere lavorati in modo, che l'asse ottico sia parallelo o perpendicolare al taglio del vertice; dando allora delle giuste inclinazioni alle facce laterali, si avranno delle separazioni più o meno grandi tra le due immagini, e sarà facilissimo osservare e mettere in disamina ciascuno di esse particolarmente; ma s' intende che le due immagini non possono giammai essere perfettamente rendute acromatiche, perciocchè esse derivano da diverse potenze rifrattive.

5° *Sperienze di riflessione sulla seconda superficie de'corpi a doppia rifrazione, e prisma di Nicol.* — Quando un fascio di luce riflettesi alla seconda superficie di un corpo a doppia rifrazione, esso presenta de' particolari fenomeni, che derivano dalle proprietà delle quali ci facciamo a discorrere. Il raggio che giunge alla seconda superficie, come quello che ha già attraversato un cristallo, è mestieri che sia o ordinario o straordinario, e dopo la riflessione trovasi nello stesso caso di un fascio ordinario o straordinario, che facciasi ad entrare in un secondo cristallo. Da ciò derivano le apparenze delle immagini riflesse a seconda delle rispettive giaciture dell' occhio, del piano di riflessione, e della sezione principale del cristallo. Tutti cotesti effetti possono agevolmente essere posti in disamina, mercè il prisma a doppia rifrazione.

Il *prisma di Nicol* espresso nella figura 299 *bis*, è una conseguenza della riflessione totale; esso va fatto nel modo che segue: si prende un lungo parallelepipedo di calce carbonata e si taglia in due, mercè un piano perpendicolare al piano delle grandi diagonali delle basi, e passante per gli angoli ottusi più vicini, poi si uniscono le due metà nell' ordine medesimo con balsamo del Canadà. Si ha in tal modo ciocchè dicesi il *prisma di Nicol*, ma che è in sostanza un vero parallelepipedo. Ciò nondimeno si vede che la luce, che entra per l'una o per l'altra delle basi, cade molto obliquamente sul balsamo del Canadà; ora l' indice di rifrazione di questo è più piccolo dell' indice ordinario della calce carbonata, ma più grande dell'indice straordinario; donde segue che il raggio ordinario patisce la riflessione totale, nell' atto che lo straordinario passa per uscire per l'altra base. Il prisma di Nicol dunque fa solo passare l' immagine straordinaria degli obbietti che si guardano attraverso di esso. Esso perciò può farci distinguere l' immagine ordinaria dalla straordinaria prodotte da un cristallo; e basta per questo mettere nello stesso piano la sezione principale del cristallo e del prisma di Nicol, perocchè l'unica immagine che passa è la straordinaria: se poi le due sezioni principali sono perpendicolari, l'immagine che passa è l'ordinaria diventata straordinaria attraversando il prisma; se le due sezioni sono a 45° si osserveranno due immagini della stessa intensità.

6° La turmalina gode eziandio d'una pregevolissima qualità, per lo studio de' fenomeni di doppia rifrazione e di polarizzazione: quando essa è tagliata in lamine a facce parallele tra loro ed all'asse, essa opera come il prisma di Nicol, vale a dire fa passare solo l' immagine straordinaria, quella dell' ordinaria rimanendo quì *interamente assorbita*. Quindi segue in prima che, incrociando due turmaline, non passa luce, perocchè l'immagine straordinaria che ha attraversato la pri-

ma non potrebbe attraversare la seconda, senza diventare ordinaria, cioè senza essere assorbita. Donde segue anche che la turmalina, come il prisma di Nicol, è acconcia a distinguere tra due immagini date da un cristallo, la cui sezione principale sia conosciuta, quale sia l' immagine ordinaria e quale la straordinaria.

446. *Doppia rifrazione del vetro compresso.* — Avendo esposto i principali fenomeni della doppia rifrazione de' cristalli, dobbiam dare un' idea delle accidentali cagioni che operar possono sulla maggior parte de' corpi diafani, facendo loro acquistare la virtù della doppia rifrazione. E ciò non solo servirà a farci conoscere de' nuovi fatti, ma a rendere aperto che la divisione de' raggi, ne' corpi doppiamente rifrattivi, è generata dall' ineguale elasticità che possiede l' etere nelle diverse direzioni, e che questa varia elasticità risulta essa stessa dalla forma delle molecole, dalla loro rispettiva distanza, e dalla loro particolar maniera di riunione. Ecco l' esperienza che Fresnel ha immaginato per comprovare questa importante verità.

Quattro prismi rettangolari di vetro a, b, c, d, perfettamente eguali, son posti, l'un presso l'altro, sopra un piano orizzontale con le facce che sottendono gli angoli retti (*fig.* 300). Dall' una parte e dall' altra si applicano contro i quattro capi delle strisce di cartone, e sopra di esse delle rigidissime lamine di acciajo; indi fortemente si comprimono in apposita morsa, in modo che la compressione si esegua secondo l' asse de' prismi, per diminuirne la lunghezza. Mentre il vetro è così tenuto in uno stato violento, si accomodano tre altri prismi rettangolari e, f, g, e due altri h, k di 45°, per completare un parallelepipedo allungato, le cui facce estreme s, s' siano parallele; le facce laterali di tutti questi ultimi prismi sono incollate alle facce laterali de' primi con mastice in lagrime, per evitare le riflessioni parziali.

Questo sistema così composto gode della doppia rifrazione. Un piccolo scopo, posto alla distanza di un metro dalla parte del lato s' per esempio, è veduto doppio dall' occhio che lo guarda sul lato s', ed il deviamento delle due immagini può essere di un millimetro ed anche di più. Si può poi rendersi certo che ciascuno di questi fasci ha le qualità di quelli della doppia rifrazione. Ora in questo caso è chiaro la doppia rifrazione derivare dall' etere diversamente elastico, nel vetro compresso ed in quello che non lo è punto.

Verso la fine del capitolo intorno alla polarizzazione, vedremo molti piacevolissimi fenomeni di effettiva doppia rifrazione, in molti corpi diafani non cristallizzati; ma se questa doppia rifrazione è sufficiente a generare vivi colori; è troppo debole per essere direttamente osservata.

Per compiere l' esposizione de' fenomeni che appartengono esclusivamente alla doppia rifrazione, farem vedere come il principio della divisione de' raggi può essere utilmente applicato alla misura de' piccoli angoli: Rochon nel 1777 fu il primo a realizzare questa ingegnosa applicazione, con uno strumento conosciuto oggi col nome di *micrometro a doppia immagine, o cannocchiale di Rochon.*

Micrometro a doppia immagine. — Immaginiamo due prismi di cristallo di rocca (*fig.* 301), dei quali l'asse del primo asb sia perpendicolare alla faccia sb, e l'asse del secondo per l' opposto parallelo alle facce laterali as', bs', ed ab; supponghiamo che i loro angoli rifrattivi abs e bas' sieno eguali, e che sian congiunti con le facce ab, mercè di mastice in lagrime, in modo da farne un sol sistema, le cui facce as ed sb sieno perfettamente parallele.

Un fascio di luce, cadendo perpendicolarmente sopra sb, penetrerà senza deviamento o divisione fin sulla faccia ab: ma ivi si partirà in due, uno ordinario che andrà secondo oo' in linea retta, l' altro straordinario che sarà deviato secondo vtx, facendo dopo la sua emergenza un angolo $xtq'=e$ con la perpendicolare ovvero col raggio ordinario oo. Ponendo l' occhio dietro il lato as' si vedrà dunque una doppia immagine del punto che manda la luce, e queste due immagini saran vedute sotto l' angolo e. Lo stesso accadrà a' raggi che partano da' punti vicini, perocchè essi vengono con poca obbliquità sulla faccia sb: e però l'occhio vedrà una doppia immagine degli oggetti che trovansi nel campo della visione, senza che avvenga in essi sensibile deformazione, almeno per quegli obbietti che mandan luce sotto picciola obbliquità.

Per determinare l' angolo e *di duplicazione*, spettante al sistema de' prismi, dinotiamo con i, r, i' gli angoli orp, tqp', vtq; con a gli angoli rifrangenti sba, $s'ab$, in modo che sia $i=a$ ed $i'=a-r$; e con n, n' gl' indici di rifrazione ordinaria e straordinaria: s' intenderà di leggieri essere allora

$$\frac{\operatorname{sen} a}{\operatorname{sen} r}=\frac{n'}{n},\ \text{e}\ \frac{\operatorname{sen} e}{\operatorname{sen}(a-r)}=n';$$

d' altronde si ha $n'=1,5582$ ed $n=1,5484$; laonde dopo di avere, co' metodi comuni, de-

terminato l' angolo a de' prismi, la prima equazione darà r. il cui valore essendo sostituito nella seconda, potrassi da questa ricavare il valore di e. Questi valori saranno di 19' 30", 28' 20", 40' 0", 57' 40" per a uguale a 30°, 40°, 50°, 60°.

In vece di ricorrere al calcolo, per determinare l' angolo di duplicazione di un dato prisma, si può agevolmente determinarlo mercè l'osservazione. Per la qual cosa basterà allontanare uno scopo circolare, di conosciuto diametro d, fino ad una nota distanza z, in modo che guardandolo col prisma le sue due immagini scambievolmente si tocchino; allora è chiaro che l'angolo di duplicazione e è uguale all' angolo sotto del quale lo scopo è veduto ad occhio nudo da cotesta distanza z; laonde si ha

$$\text{tang}e = \frac{d}{z}.$$

Se per l'opposto l' angolo e fosse noto, si potrebbe conoscere d per mezzo di z, ovvero z per mezzo di d, per rispetto ad un obbietto le cui immagini si toccassero.

Il prisma del quale di sopra è detto puossi in vari modi applicare ai cannocchiali. Nel micrometro a doppia immagine, detto anche, dal nome dell' inventore, micrometro di Rochon: il prisma va messo nel tubo del cannocchiale tra l' obbiettivo e l' oculare (*fig.* 302), e può, senza uscire dalla direzione dell'asse, muoversi a piacimento; si avvicina al fuoco dell'obbiettivo fino ad una distanza $fz = h$, tale che le due immagini $fm, f'm'$ dell'obbietto che si vuol misurare (*fig.* 302) scambievolmente si tocchino (*fig.* 303); allora tra l' angolo visuale $fcm = v$ e l' angolo di duplicazione $fzm = e$ hassi apertamente la relazione che segue

$$\text{tang}v = \frac{h}{f}\,\text{tang}e;\ \text{ovvero}\ v = \frac{he}{f};$$

f è la distanza focale fc dell' obbiettivo: e si determina per uno dei metodi sopra indicati; e però resta sconosciuta solo h, la quale potrebbe essere direttamente misurata sul tubo.

Fia meglio intanto graduare l' istrumento nel modo che segue; si guardi col cannocchiale uno scopo circolare di cui conoscasi il diametro e la distanza, il quale serve per conseguenza di base ad un angolo conosciuto di 20 in 30'; mettasi il prisma nel punto in cui fa solo vedere un' immagine, e questo sarà lo 0 dell'istrumento; facciasi indi correr verso l'obbiettivo fino a che le due immagini si tocchino; allora sapendo che l' angolo visuale v è di 30 minuti per esempio, si segni 30 sul tubo, nel punto corrispondente al prisma, e la distanza tra questo punto e lo 0 dividasi in 30 parti, continuando le divisioni anche al di là del numero 30; guardando un altro obbietto, dopo di aver ridotto le due sue immagini a toccarsi, basterà vedere a qual divisione il prisma corrisponda, per saper l'angolo visuale di questo obbietto.

Accanto a queste divisioni angolari trovansi ancora scritti sul tubo altri numeri, i quali esprimono la ragione fra la distanza e la grandezza di un obbietto. Così accanto a 4' sta scritto 859, il che significa che la distanza di un obbietto è 859 volte la sua grandezza, quando esso è veduto sotto un angolo di 4'; laonde, mercè questa seconda divisione il micrometro, a doppia immagine, dà la distanza di un obbietto di cui conoscasi la grandezza, o per l' opposto la grandezza conoscendosene la distanza.

Arago si è giovato di questo strumento per misurare i diametri dei pianeti, ed ha trovato commodo porre il prisma tra l'oculare e l'occhio: allora però è mestieri far uso di un oculare speciale, i cui vetri sian mobili per variare l' ingrandimento quando si voglia. In tal modo si giunge, come nel caso antecedente, a ridurre le immagini a toccarsi: l' ingrandimento g, per lo quale questo fine si consegue, essendo noto mercè la rispettiva giacitura dei vetri nell' oculare, è agevole d' inferirne il diametro apparente d dell' astro o dell' obbietto, imperciocchè allora si ha $e = dg$. E per contro potrebbesi con questo metodo determinare l' ingrandimento di un cannocchiale, ma per far questo sarebbe mestieri allontanare uno scopo circolare, fino a che le immagini si toccassero, quando lo si guardi col prisma posto innanzi all' oculare; conoscendo allora il suo diametro apparente d e l'angolo e, se ne ricaverebbe g.

Questo stesso metodo potrebbe applicarsi ai microscopi: per la qual cosa sarebbe mestieri porre innanzi le lenti obbiettive, e propriamente nel foco, un micrometro di vetro; poi in vece di osservarlo con la camera lucida, si osserverebbe col prisma di Rochon, volgendolo in modo che le due immagini si trovassero nella stessa linea; allora si conoscerebbe la frazione m di millimetro, per cui una delle immagini oltrepassa l'altra, e questa frazione ingrandita e diventata g volte più grande, alla distanza della visione distinta d, forma la tangente dell' angolo di duplicazione; onde si ha

$$1 : \text{tang}e :: d : gm;\ \text{d' onde}\ g = \frac{d\ \text{tang}\,e}{m}.$$

Il prisma della figura 301, del quale ci siamo giovati per dimostrare le proprietà del micrometro a doppia immagine; può essere adoperato in due modi; cioè prendendo, siccome abbiamo fatto; le facce *sb* e *as'* per facce di entrata e di uscita della luce, o prendendo al contrario le facce *sd* e *bs'*. Dalle cose dette (414) è agevole lo intendere, esser utile approfittare di questa seconda direzione, perocchè la separazione delle immagini è molto più grande.

CAPO II.

FENOMENI E LEGGI GENERALI DELLA POLARIZZAZIONE.

447. *Polarizzazione per riflessione.* — Quando un pennello di luce è stato riflesso sopra una lamina di vetro, facendo con la superficie della stessa un angolo di 35° 25', allora dicesi che questo pennello è *polarizzato*, perocchè esso gode di alcune qualità, che non si osservano nella luce naturale. Ecco alcune di tali qualità che sceglieremo come distintive:

1° Esso attraversando un prisma a doppia rifrazione dà *una sola immagine*, quando la sezione principale di questo prisma sia parallela o perpendicolare al piano di riflessione, nell'atto che in tutte le altre giaciture dà sempre due immagini, più o meno intense.

2° Cadendo sopra una seconda lamina di vetro sotto lo stesso angolo di 35° 25' non patisce *alcuna riflessione*, quando il piano d' incidenza di questa seconda lamina sia perpendicolare al piano d'incidenza sulla prima, nell'atto che in altri piani e sotto altre incidenze è in parte riflesso.

3° Esso *si spegne* cadendo perpendicolarmente sopra una lamina di turmalina, il cui asse sia parallelo al piano di riflessione, nell'atto che passa con intensione sempre più forte, secondo che l'asse della turmalina va riducendosi perpendicolare al piano di riflessione.

Per rendere aperte queste verità mercè l'esperienza, puossi adoperare lo strumento rappresentato nella figura 304: *t* tubo di rame simile a quello di un cannocchiale; *d* diaframma; *g* riflettitore di vetro nero (quando si vuol renderlo fisso, si ferma in tale giacitura, in modo che l' asse del tubo faccia con esso un angolo di 35° 25'); *p*, *q*, *r*, un prisma a doppia rifrazione, un cristallo ed una turmalina; gli assetti di ciascuno di questi pezzi son terminati da un anello *n*, che si accomoda sull' estremo diviso del tubo principale, ove può liberamente girare; quest'anello porta un indice che percorre le divisioni, le quali, come è facile ad intendere, dinotano la giacitura angolare del pezzo mobile per rispetto al piano di riflessione sul cristallo *q*.

Il tubo *t* essendo convenientemente ordinato, affinchè la luce del cielo o la luce bianca delle nubi cada sul riflettitore *g*, egli è chiaro, per le cose innanzi discorse, che il fascio riflesso secondo l'asse del tubo fa un angolo di 35° 25' con la superficie di riflessione; allora osservandolo col prisma *p*, veggonsi in generale due immagini di questo fascio, o piuttosto dell'apertura del diaframma *d*; ma facendo girare il prisma ed il suo assetto per un' intera circonferenza, agevolmente si osserva che l'immagine è una, per rispetto a quattro giaciture del prisma, cioè quando la sua sezione principale è parallela al piano di riflessione o quando è perpendicolare al medesimo.

Ponendo il cristallo *q* in vece del prisma, ed osservando l' immagine del diaframma *d* riflessa da esso, si vedrà che questa immagine sparisce, quando l'incidenza su questo secondo cristallo è anche di 35° 25' con la superficie, e che in pari tempo il piano d'incidenza è perpendicolare all'altro piano d'incidenza sul cristallo *q*: in tutte le altre giaciture l' immagine riflessa è più o meno chiara, e va gradatamente infievolendosi, in ragion che si avvicina a quella testè indicata.

Da ultimo se in vece del cristallo *q* pongasi la turmalina *r*, si vedrà che l' immagine del diaframma *d* è brillantissima, quando l' asse della turmalina è perpendicolare al piano di riflessione, che va a poco a poco illanguidendosi, quando si allontana da questa giacitura, e che compiutamente si perde, quando l'asse della turmalina è parallelo al piano di riflessione.

Queste sono le qualità distintive dei raggi polarizzati: una qualunque di queste tre porta seco necessariamente le due altre. E però per vedere se un raggio è polarizzato, ci basterà da ora innanzi osservarlo con la lamina di turmalina, o col prisma a doppia rifrazione.

Si è dato il nome di *piano di polarizzazione* al piano, secondo il quale è stata riflessa la luce che trovasi polarizzata per riflessione; ma siccome potrebbe accadere che si voglia sperimentare un raggio polarizzato, la cui origine sia ignota, così è stato mestieri, ritenendo questa definizione, farne un' altra equivalente o piuttosto indicare un' altra qualità distintiva, per conoscere il piano di polarizzazione, e la lamina di turmalina è riuscita all' uopo molto acconcia: quando un raggio si perde attraversando la turmalina, il suo piano di po-

larizzazione è parallelo all'asse della lamina: quando per l'opposto ha la sua maggiore intensione attraversando la turmalina, il suo piano di polarizzazione è perpendicolare all'asse della lamina.

L'esperienze che abbiam fatte con la luce delle nubi, possono farsi egualmente con qualsivoglia luce artificiale o naturale; che anzi in una camera buia è agevole il farle anche colla luce solare; le immagini allora si fan cadere sopra un piano rimoto: in questo caso le sperienze riescono più facili giovandosi di un fascio di luce orizzontale, riflesso da un eliostata o da un *portaluce*, e sostituendo al primo cristallo *q* un prisma a doppia rifrazione, una turmalina, o una pila di cristalli, siccome di corto diremo.

La polarizzazione di cui abbiam dato una prima idea fu nel 1810 scoperta dal Malus; fino allora nessuno avea supposto che la riflessione potesse dare alla luce qualità particolari. Se era mestieri aver somma sagacia per iscovrire e mettere in disamina affezioni sì nuove e singolari, un ingegno assai penetrante certamente si volea per rendere aperte queste affezioni nel modo che fu fatto da Malus, e per mostrare ai fisici che esse aprivano in ottica un campo immenso per estensione e per ricchezza.

Nel tempo di questa scoperta la dottrina dell'emissione era da tutti seguitata; in ottica altro non vedeasi che le molecole luminose dotate di vari accessi e varie qualità; tutte queste molecole ricevendo nello stesso tempo le stesse modificazioni, quando eran riflesse dal vetro sotto un certo angolo, supponeasi che esse fossero tutte rivolte nello stesso modo, e che per conseguenza avessero degli assi di rotazione e dei *poli* intorno ai quali i lor moti in certe congiunture compier si potessero. Quindi ne venne la voce *polarizzazione*, la quale significava che i poli eran diretti o ordinati nello stesso modo per tutte le molecole.

448. *Polarizzazione per semplice rifrazione.* — La luce naturale si polarizza attraversando, sotto certe condizioni, una serie di lamine di vetro a facce parallele, ed il suo piano di polarizzazione è allora perpendicolare a quello di emergenza. Per rendere aperto tutto questo, si fa una *pila di lamine* s (*fig.* 304), ordinando parallelamente tra loro 4 o 5 lamine di cristallo che pongonsi invece del rillettitore *g*; allora se si faccia saggio del pennello che ha attraversato questa pila, osservandolo per uno de' tre metodi de' quali di sopra è detto, è agevole il ravvisare che esso è polarizzato quando penetra nelle lamine, facendo un angolo di 35° 25' con le superficie delle medesime; e siccome la sua maggiore intensione si ha quando l'asse della turmalina è parallelo al piano d'emergenza, se ne conclude che il piano di polarizzazione è perpendicolare all'anzidetto piano d'emergenza. Se la luce è molto viva, essa non si troverà interamente polarizzata, ed allora sarà mestieri adoperare una pila composta di maggior numero di lamine.

Gli altri corpi diafani e non cristallizzati presentano simili fenomeni: se non che per avere la maggiore polarizzazione è mestieri, che l'incidenza varii in ragion della varia natura dei corpi.

449 *Polarizzazione per doppia rifrazione.* — I due fasci ordinario e straordinario, in cui si partisce la luce naturale che attraversa la sezion principale di un cristallo, sono entrambi polarizzati, il primo nel piano di emergenza, ed il secondo perpendicolarmente allo stesso.

Per rendere aperto questo fatto, si sostituisca al riflettitore *g* (*fig.* 304) un prisma di doppia rifrazione, e con uno degli apparecchi o *analizzatori* *p*, *q*, *r* si osservi la luce trasmessa: se si adopera, per esempio, la turmalina, agevolmente si vedrà che l'immagine *ordinaria* (quella che è nell'asse non deviata) acquista la maggiore intensione, quando l'asse della turmalina è perpendicolare alla sezione principale del prisma, e che per l'opposto si perde, quando l'asse della turmalina è nella stessa sezione principale; l'immagine straordinaria (quella che è fuori dell'asse e deviata) ingenera fenomeni perfettamente opposti: si può così distinguere l'immagine ordinaria dalla straordinaria.

450. *Polarizzazione per riflessione irregolare.* — Quando una qualunque superficie è fortemente rischiarata, i raggi, che irregolarmete la stessa per ogni verso riflette, trovansi parzialmente polarizzati in un piano perpendicolare a quello di emergenza. Per rendersene certo, basterà far cadere un raggio di luce solare in una camera buia sopra una superficie più o men levigata, ed osservare questa superficie attraverso la lamina, che si fa volgere nel suo piano, per ridurre l'asse della medesima or parallelo ed or perpendicolare al piano di emergenza dei raggi: nel primo caso lo splendore della superficie sarà sensibilmente più forte che nel secondo; il che rende aperto che la luce, siccome innanzi dicevamo; è polarizzata, ma non interamente.

450 *bis.* *Polarizzazione della luce atmosferica.* — Delle cose innanzi discorse apertamente seguita, che la luce non è mai riflessa o

rifratta senza essere più o meno polarizzata; per la qual cosa ognun sospetterà potersi nella luce atmosferica ravvisare una polarizzazione più o meno compiuta; il che veramente accade, quando il cielo è sereno, e per rendersene certo basterà guardare i varî punti del cielo attraverso una turmalina, che si faccia rotare nel suo piano: quando l'immagine che si osserva ha lo stesso splendore in tutte le giaciture dell'asse, allora non v'ha polarizzazione alcuna; ma se in due giaciture rettangolari v'abbia una differenza di splendore, la luce che viene da questa regione del cielo sarà più o meno polarizzata, ed il piano di polarizzazione sarà perpendicolare all'asse della turmalina, considerata nella giacitura in cui dà l'immagine più fosca.

451. *Legge di Brewster sull'angolo di polarizzazione.* — L'angolo secondo cui le diverse superficie riflettenti polarizzano maggiormente la luce, si misura col goniometro di Charles, o con altro istrumento acconcio per la misura degli angoli: per la qual cosa basterà ordinare convenientemente la superficie sulla quale si vuole sperimentare, e con una turmalina, il cui asse sia perpendicolare al piano di riflessione, osservare il raggio riflesso; l'angolo d'incidenza, secondo cui l'immagine nella turmalina si perde o prende la minor chiarezza, sarà appunto l'angolo cercato. Eransi in tal modo fatte molte sperienze, quando Brewster confrontandone i risultamenti ne inferì la seguente notevole legge:

La tangente dell'angolo di polarizzazione è uguale all'indice di rifrazione, o, che vale lo stesso, *l'angolo di polarizzazione è quello per lo quale il raggio riflesso è perpendicolare al corrispondente raggio rifratto.*

E per fermo se dicasi n l'indice di rifrazione di un corpo, p l'angolo di polarizzazione, ed r il corrispondente angolo di rifrazione, si avrà per la prima parte della legge di Brewster, e per la legge ordinaria di rifrazione: $\tan g\, p = n$, $\operatorname{sen} p = n \operatorname{sen} r$, il che dà $\cos p = \operatorname{sen} r$, e per conseguenza $r + p = 90°$ conformemente alla seconda parte dell'enunciata legge.

Quando la riflessione si compie nell'interno di un corpo, l'indice di rifrazione diventa $\frac{1}{n}$, ed esprime ancora la tangente dell'angolo, secondo cui la interna riflessione da la più compiuta polarizzazione.

Esprimendo con si (*fig.* 305) il raggio incidente sotto l'angolo di compiuta polarizzazione, vedesi, per la prima superficie, che i suoi corrispondenti raggi riflessi e rifratti if ed ir sono perpendicolari tra loro, e che non è lo stesso dei raggi rf' ed rs' alla seconda superficie. Basterà conoscer l'indice di rifrazione di un corpo per ritrovare il suo angolo di polarizzazione; e per contro essendo conosciuto l'angolo di polarizzazione di un corpo, sarà agevole l'inferirne l'indice di rifrazione dello stesso.

I corpi a doppia rifrazione avendo indici di rifrazione, che variano con la grandezza degli angoli e la direzione dei piani d'incidenza, è da presumere, che gli angoli di polarizzazione debban presentare allora alcuni particolari fenomeni; ma io finora non conosco alcuna precisa osservazione sul proposito.

Gl'indici di rifrazione essendo diversi pei diversi colori, ne segue che parlando a tutto rigore, i raggi dello spettro non si polarizzano perfettamente sotto lo stesso angolo.

452. *Legge di Malus sulla distribuzione della luce polarizzata.* — Quando un fascio di luce polarizzata attraversa un prisma a doppia rifrazione, abbiam veduto che esso è semplice nella sua emergenza, quando la sezione principale del prisma fa col piano di polarizzazione angoli di 0, 90, 180 o 270°; ma in tutte le altre giaciture v'ha un'immagine ordinaria ed un'altra straordinaria che variano di rispettiva chiarezza e che a lor posta si perdono, quando si giunge alle antecedenti giaciture. Il Malus giunse ad esprimere coteste variazioni d'intensione mercè la seguente formola:

$t = \cos^2 a$, per lo raggio ordinario,

$t' = \operatorname{sen}^2 a$, per lo raggio straordinario,

essendo a l'angolo che la sezione principale del prisma fa col piano di polarizzazione, 1 l'intensione del raggio incidente, e t e t' quelle de' raggi trasmessi, le quali variano con la grandezza dell'angolo a.

Laonde: 1° La somma delle intensioni dei due raggi è sempre eguale a quella della luce incidente, imperocchè per ogni valore di a si ha sempre $t + t' = 1$; 2° Per $a = 0$ il fascio straordinario si perde, nell'atto che l'ordinario prende la maggiore vivacità, ovvero l'intensione 1; partendo da questa giacitura, t' aumenta e t diminuisce fino ad $a = 90°$; allora il fascio ordinario si perde, e t diventa uguale ad 1; da 90 a 180° si generano gli stessi fenomeni in ordine inverso, e pari risultamenti si hanno anche nell'altra semicirconferenza.

Cotesta notevole legge, che da prima era solo un modo empirico di esprimere le apparenze, è stata trovata perfettamente conforme alla teoria (ved. cap. V, prop. 3).

Dalla stessa teoria consegue, che *un fascio di luce naturale d' una intensità eguale ad 1,*

può esser sempre considerato come la riunione di due fasci polarizzati ad angolo retto, ciascuno de' quali abbia un' intensià eguale ad $\frac{1}{2}$, *e l'azimut di questi piani di polarizzazione essendo arbitrario* (ved. cap. V, prop. 8).

453. *Leggi di Fresnel sulla intensione della luce riflessa.* — La quantità di luce riflessa dalle superficie levigate cresce continuamente con le obbliquità d'incidenza; è questo un fatto di cui è agevole il rendersi certo, con esperienze approssimative; ma prima delle ricerche, delle quali ci faremo a discorrere, non avevasi ancora un metodo sperimentale, per comparare con precisione le intensioni corrispondenti alle varie obbliquità, nè aveasi una formola generale, per esprimere in ogni caso la ragion che passa tra la luce incidente e la riflessa. I fenomeni della polarizzazione han guidato a questa doppia risoluzione del problema. La prima è di Arago, la seconda è di Fresnel.

La formola di Fresnel discende da considerazioni che trovansi svolte nel cap. V, prop. 11. La formola è la seguente:

$$t=\frac{\text{sen}^2 (i-i')}{\text{sen}^2 (i+i')}\cos^2 a+\frac{\text{tang}^2 (i-i')}{\text{tang}^2 (i+i')}\text{sen}^2 a.$$

L'intensione della luce incidente è presa per unità: t intensione della luce riflessa; a *azimut* del piano di polarizzazione della luce incidente, ovvero angolo che questo fa col piano d'incidenza o di riflessione; i l'angolo d'incidenza; i' il corrispondente angolo di rifrazione dipendente da i per l'equazione sen $i=n$ sen i', essendo n l'indice di rifrazione del corpo riflettente, per rispetto al mezzo nel quale la riflessione si compie.

Mercè queste due equazioni tra le cinque quantità n, i, i', a, t, si può dunque determinarne due, sempre che le tre rimanenti sian conosciute; donde ne deriva una moltitudine di applicazioni, delle quali basterà aver dato il principio.

V'ha dippiù: la formola estendesi anche alla luce naturale; imperciocchè abbiam veduto che un fascio di luce naturale d' una intensione eguale ad 1, può esser considerato come la riunione di due fasci polarizzati ad angolo retto, avente ciascuno un'intensione eguale ad $\frac{1}{2}$.

Prendiamo adunque due fasci che soddisfino a queste condizioni. Il primo, considerato come polarizzato nel piano d' incidenza, darà alla riflessione una intensione $\frac{1}{2}\frac{\text{sen}^2 (i-i')}{\text{sen}^2 (i+i')}$, essendo che $a=0$. Il secondo polarizzato perpendicolarmente al piano d'incidenza, darà un'intensione $\frac{1}{2}\frac{\text{tang}^2 (i-i')}{\text{tang}^2 (i+i')}$, perchè $a=90°$.

E siccome sono essi polarizzati ad angolo retto, l'intensione totale sarà eguale alla somma delle due intensioni riunite, e si avrà

$$t=\frac{1}{2}\left\{\frac{\text{sen}^2 (i-i')}{\text{sen}^2 (i+i')}+\frac{\text{tang}^2 (i-i')}{\text{tang}^2 (i+i')}\right\}.$$

Per la qual cosa conoscendosi i ed n si può determinare t.

Per l'incidenza perpendicolare avrebbesi $i=0$, $i'=0$, e la formola darebbe $\frac{0}{0}$; ma per averne il vero valore è mestieri osservare che per piccole incidenze possonsi prendere gli angoli in vece dei seni e delle tangenti, e che allora si ha $i=ni'$, il che dà

$$t=\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$$

Le due parti costituenti il raggio riflesso sono disuguali. La prima è sempre maggiore della seconda, e dividendo la loro differenza per la loro somma ottiensi la formola

$$\frac{\cos^2 (i-i')-\cos^2 (i+i')}{\cos^2 (i-i')+\cos^2 (i+i')},$$

che esprime la proporzione della luce riflessa, che trovasi polarizzata nel piano di riflessione. Or questa proporzione diviene massima, ed eguale ad 1 per $i+i'=90°$; da ciò dunque risulta una pruova diretta della legge di Brewster su l'angolo di polarizzazione.

454. *Moto del piano di polarizzazione per effetto della riflessione.* — Quando un raggio di luce polarizzata si riflette sopra una superficie sotto obbliquità diverse, la parte riflessa trovasi anche polarizzata; ma generalmente accade che il suo piano di polarizzazione ha cambiato d' *azimut*, o che si è mosso per un certo numero di gradi. Questo nuovo azimut è dato dalla formola

$$\text{tang}\, a'=\text{tang}\, a\frac{\cos (i+i')}{\cos (i-i')}$$

a è l'azimut del piano di polarizzazione nel raggio incidente; a' l'azimut del piano di polarizzazione nel raggio riflesso; i è l'angolo d'incidenza; i' il corrispondente angolo di rifrazione, dato dall'equazione sen $i=n$ sen i', essendo n l'indice di rifrazione della materia riflettente.

1° Affinchè si possa avere $a=a'$, è mestie-

ri che sia $\cos(i+i')=\cos(i-i')$, condizione che non può in realtà essere soddisfatta, se non che in due modi, cioè per $i=0°$ ed $i=90°$. Donde segue che la riflessione perpendicolare, e quella che si fa sotto il maggiore angolo possibile sono le sole che non fan cambiare l'azimut del piano di polarizzazione, sia qualsivoglia il suo valore.

2° Gli angoli i ed i' essendo sempre minori di 90°, ne segue che $\cos(i+i')$ sia sempre minore di $\cos(i-i')$, e però sempre a' minore di a: il che significa che il piano di polarizzazione nel suo moto avvicinasi sempre a quello d'incidenza.

3° Quando $i+i'=90°$, o, che è lo stesso, quando il raggio cade sotto l'incidenza della compiuta polarizzazione, si ha sempre $a'=0$.

Laonde sotto l'angolo di polarizzazione compiuta il raggio riflesso trovasi sempre polarizzato nel piano d'incidenza, sia qualunque l'azimut del piano di polarizzazione del raggio incidente.

4° Quando l'azimut del piano di polarizzazione è di 45°, si ha

$$\tan g a=1, \text{ e } \tan g a'=\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')},$$

formola ch'è stata verificata da Fresnel.

Cotesti diversi moti del piano di polarizzazione possono essere rappresentati da una descrizione geometrica acconcia a rendere il fatto sensibile all'occhio.

Prendiamo una linea qp (*fig.* 306) che divideremo in 90 parti eguali, supponiamo che questa linea rappresenti la direzione del piano d'incidenza sulla superficie di riflessione, e che i fasci incidenti cadano successivamente in diversi punti su questa linea, con obliquità dinotate dalle divisioni spettanti a questi punti. Così al punto p, dove sta scritto 0°, il fascio cadrà perpendicolarmente, al punto a cadrà con incidenza di 20°, con un'incidenza di 40° al punto b, di 56° al punto c, di 70° al punto d, e di 90° al punto q. Supponghiamo in fine che il piano di polarizzazione di tutti quei fasci incidenti abbia un azimut di 45°; allora la linea az rappresenterà il piano di polarizzazione del fascio riflesso. Intendesi che all'incidenza di 56° colla perpendicolare, o di 34° con la superficie, il piano di polarizzazione del fascio riflesso diventa parallelo al piano di riflessione; e che dall'una e dall'altra parte di queste giaciture, cioè per maggiore o minore obliquità, il piano di polarizzazione cambia lato; per obliquità minori del piano d'incidenza va a destra, e per obliquità maggiori a sinistra.

Nella figura 306, $p'q'$ rappresenta il moto del piano di polarizzazione per un raggio polarizzato, che abbia anche un azimut di 45°, ma dall'altra parte del piano d'incidenza.

Dopo di aver rappresentato geometricamente ciò che accade ai raggi polarizzati nell'azimut di 45°, tanto a destra quanto a sinistra del piano di riflessione, egli è agevole d'inferirne ciò che accadrà ad un fascio di luce naturale; imperciocchè questo, avendo un'intensione eguale ad 1, si può considerare come composto di due fasci ciascuno dei quali abbia per intensione $\frac{1}{2}$, e siano polarizzati ad angolo retto (*fig.* 452): or se supporremo che uno di cotesti fasci abbia il suo piano di polarizzazione nell'azimut di 45°, ed a destra del piano d'incidenza, l'altro dovrà avere del pari il suo piano di polarizzazione nell'azimut di 45°, ma a sinistra del piano d'incidenza. Per la qual cosa i fenomeni della luce naturale altro non sono che la *soprapposizione* de' fenomeni pq e $p'q'$ rappresentati nella figura 306, siccome vedesi in $p''q''$. Seguita da tutto ciò, che, sotto l'incidenza perpendicolare, il fascio riflesso è senza polarizzazione, siccome il fascio incidente; imperciocchè l'uno e l'altro son composti di due fasci di eguale intensione polarizzati ad angolo retto: a misura che l'angolo d'incidenza cresce, i due piani di polarizzazione gradatamente si avvicinano, e quando la riflessione accade sul vetro, essi diventano finalmente paralleli fra loro ed al piano di riflessione, per l'incidenza di 56°; cioè che allora il raggio riflesso è interamente polarizzato nel piano di riflessione; al di là di questo termine e per tutte le incidenze più grandi ciascun piano di polarizzazione continua a girare per lo stesso verso, quello di destra passando a sinistra del piano d'incidenza, e quello di sinistra a destra; da ultimo, per l'incidenza di 90°, i due piani di polarizzazione si trovan perpendicolari tra loro, avendo ciascuno ripreso un azimut di 45° dall'altra parte del piano d'incidenza. Cotesti risultamenti ci serviranno a render ragione della parziale e della compiuta polarizzazione che derivano da parecchie sussecutive riflessioni.

455. *Polarizzazione parziale e polarizzazione compiuta generale da parecchie sussecutive riflessioni.* — Quando un fascio di luce naturale si riflette sotto un angolo maggiore o minore di quello di polarizzazione compiuta, esso presenta tutte le apparenze di un fascio parzialmente polarizzato. Per rendersene certo, basterà osservarlo con una lamina di turmalina; imperocchè l'immagine per nessuna giacitura della lamina sparisce interamente,

ma cambia d'intensione in ragion che la lamina si volge nel suo piano. Questa luce fu da prima considerata come composta di due fasci, uno avente il suo stato naturale e l'altro polarizzato nel piano d'incidenza. Ma il Brewster ha fatto vedere che veramente esso è composto di due fasci eguali ed interamente polarizzati, l'uno a destra e l'altro a sinistra del piano di riflessione, l'azimut de' quali è lo stesso per ciascuno di essi, ed è dato dalla formola

$$\tang a' = \frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')},$$

imperciocchè, il raggio naturale incidente potendo esser considerato come composto di due fasci polarizzati ad angolo retto, è permesso di prendere 45° a destra del piano di polarizzazione per l'azimut del primo, e 45° a sinistra per quello del secondo, in modo che sia $\tang a = 1$.

Se avviene che diverse riflessioni sussecutive si compiano sotto la stessa incidenza e nello stesso piano; e per a', a'', a''',...$a^{(n)}$ si esprimano gli azimut del piano di polarizzazione dopo la 1ª, 2ª, 3ª, ... nª riflessione, si avrà:

$$\tang a' = \frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')},$$

$$\tang a'' = \tang a' \frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')},$$

. . . .

$$\tang a^{(n)} = \tang a^{(n-1)} \frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')},$$

e moltiplicando tutte l'equazioni tra loro:

$$\tang a^{(n)} = \left\{\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}\right\}^n.$$

Quest'ultimo azimut non può essere mai nullo, sia qualunque il numero delle riflessioni, quando non si ha $i+i'=90°$; ma il suo valore scema sempre più in ragion che cresce il numero delle riflessioni; quando giunge ad un mezzo grado o ad un grado, la luce sembra quasi polarizzata interamente nel piano d'incidenza. Così sul vetro, sotto l'incidenza di 70°, cinque riflessioni bastano per dare una polarizzazione quasi compiuta.

Del resto le formole antecedenti potrebbero farci calcolare, dopo ciascuna riflessione, quale è la parte di luce polarizzata, e quale quella che non lo è.

456. *Moto del piano di polarizzazione per effetto della rifrazione.* — La rifrazione, del pari che la riflessione, può far cambiare il piano di polarizzazione. Questo effetto è rappresentato nella figura 307: *pq* dinota il piano di rifrazione di una lamina di vetro a facce parallele; la lunghezza di questa linea è stata divisa in 90 parti eguali, ed il numero di ciascuna di queste divisioni indica l'angolo d'incidenza del fascio che cade in questo punto per attraversare la lamina in cui si rifrange. Onde il cerchio che vedesi di rincontro al n° 60, rappresenta un fascio, di luce polarizzata, che cade sulla prima superficie della lamina sotto un angolo di 60°; il diametro *az* mostra la direzione del piano di polarizzazione di questo fascio, quando è uscito nell'aria dopo aver attraversate le due superficie della lamina; esso fa 50° 7' col piano di rifrazione. Al punto *p*, ossia a 0°, il fascio cade ad angolo retto sulla lamina e l'attraversa perpendicolarmente; l'esperienza fa vedere che, dopo l'emergenza, il suo piano di polarizzazione è lo stesso di quello che era all'incidenza. La figura è fatta supponendo che questo piano faccia un angolo di 45° con quello di rifrazione. Ma, secondo che l'obbliquità cresce, cresce anche gradatamente l'azimut del piano di polarizzazione:

per una obbliquità di 30°, l'azimut è	45° 40'
di 45° . . .	46° 47'
di 60° . . .	50° 7'
di 90° . . .	66° 19'

Nella riflessione il piano di polarizzazione avvicinavasi a quello d'incidenza, qui per l'opposto sempre se ne allontana e mostra una tendenza a divenirgli perpendicolare. L'effetto, che in queste sperienze osservasi, è composto, imperciocchè risulta dall'azione delle due superficie. Per sapere ciò che appartiene a ciascuna, è mestieri far l'esperienza con prismi ben puri, e sotto tali incidenze, che il raggio emerga perpendicolarmente alla seconda superficie; allora questa superficie non potrà cambiare l'azimut, e l'effetto osservato dipenderà interamente dall'azione della prima.

Il Brewster, il quale par che sia stato il primo a mettere in disamina cotesto fenomeno, ha espressa la legge di questi moti con la seguente formola:

$$\cot a' = \cot a \cos(i-i');$$

a è l'azimut del piano di polarizzazione del fascio incidente, *i* l'angolo d'incidenza, *i'* l'angolo di rifrazione, *a'* l'azimut del piano di polarizzazione, modificato dall'azione della prima superficie.

Applicheremo questa formola al caso di una lamina a facce parallele, supponendo che il fascio abbia il suo piano di polarizzazione nell'azimut di 45°; allora $\cot a = 1$, e si ha semplicemente:

$$\cot a' = \cos(i - i').$$

Con quest' azimut a' dunque pel suo piano di polarizzazione, il raggio va a cadere sulla seconda superficie con un angolo i' d'incidenza; ma siccome l'angolo di rifrazione è i, e siccome $\cos(i'-i) = \cos(i-i')$, il nuovo azimut a'', dopo questa seconda rifrazione, sarà dato dall'equazione:

$$\cot a'' = \cot a' \cos(i - i');$$

moltiplicandola per la prima si trova:

$$\cot a'' = \cos^2 (i - i').$$

Il Brewster ha verificato questa formola con molte osservazioni.

457. ***Della polarizzazione generata da successive rifrazioni.*** — L'antecedente legge ci fa conoscere come un fascio di luce naturale può essere, mercè sussecutive rifrazioni, polarizzato. E per fermo, poichè un fascio naturale, d'intensità eguale ad 1, può esser considerato come composto di due fasci ciascuno avente per intensione $\frac{1}{2}$, polarizzati ad angolo retto, l'uno de' quali abbia il piano di polarizzazione a 45° a destra del piano di rifrazione e l'altro a 45° a sinistra, egli è chiaro che dopo le due rifrazioni attraverso di una lamina parallela di vetro, sotto l'incidenza di 60°, per esempio (*fig.* 307), il fascio emergente potrà esser considerato come composto di due fasci polarizzati a 50° 7', l'uno a destra e l'altro a sinistra del piano di rifrazione. È questo fascio così modificato va a cadere sulla seconda lamina; e dopo la sua seconda emergenza ciascuno de' suoi piani di polarizzazione avrà anche girato per un certo angolo per lo stesso verso; dicasi lo stesso dopo una terza emergenza, ec., fino a che in ultimo risultamento i suoi due piani non siano perfettamente opposti e coincidenti. In questo caso il piano di polarizzazione è uno, ed il fascio comparisce interamente polarizzato in un piano perpendicolare al piano di rifrazione. Ma in questo, come nel caso della riflessione, basterà che i piani opposti di polarizzazione facciano un angolo così piccolo, da far comparire all'occhio dell'osservatore bastantemente perfetta la polarizzazione compiuta.

Il Brewster, per esempio, ha trovato che la luce di una lucerna è compiutamente polarizzata alla distanza di 10 in 12 piedi:

per 8 lamine di vetro ovvero 16 superficie di rifrazione sotto un' incidenza di . . 78° 52'
per 24 . . ovvero 48 . . . sotto 61° »
per 47 . . ovvero 94 . . . sotto 43°. 34'

La formola dinota anche, che i piani di polarizzazione sono allora sensibilmente perpendicolari al piano di rifrazione.

Si trova similmente che 5 lamine di vetro, ovvero 10, superficie polarizzano compiutamente un fascio naturale che le attraversi sotto la maggiore obbliquità possibile, ec.

Questi fatti rendono pienamente ragione dei fenomeni delle pile di lamine.

459. ***Dell'azione scambievole dei raggi polarizzati.*** — Per compiere l'esposizione delle leggi generali della polarizzazione, dobbiamo discorrere dei fenomeni scoperti da Arago e Fresnel sulla scambievole azione dei raggi polarizzati. Stimo esser mio debito di riferire l'esposizione dei fenomeni tal quale è stata pubblicata da Fresnel:

» Arago ed io, studiando le interferenze dei raggi polarizzati, abbiam trovato che essi non hanno più azione scambievole, quando i piani di polarizzazione dei medesimi sono perpendicolari tra loro, che essi cioè non possono allora generare delle frange, quantunque si avverino perfettamente tutte le condizioni necessarie per la loro apparizione ne' casi comuni. Citerò le tre principali sperienze mercè le quali abbiam potuto fermare questo fatto cominciando da quella d'Arago.

» Essa consiste nel fare che due fasci, che partono dallo stesso punto luminoso ed entrano in due fessure parallele, attraversino due pile di sottilissime lamine trasparenti, quali sarebbero quelle di mica o di vetro soffiato, le quali s'inclinano tanto tra loro, da polarizzare quasi compiutamente ciascuno dei sopraddetti fasci, procurando che i due piani secondo i quali s'inclinano siano tra loro perpendicolari; allora non si potranno più veder frange, per quanta cura si ponga a compensare le differenze di spazj, facendo lentamente variare l'inclinazione di una delle pile, nell'atto che, quando i piani d'incidenza delle pile non sono più tra loro perpendicolari, si giunge sempre a far comparire le frange; a misura che questi piani si allontanano dal parallelismo, le frange s'indeboliscono, e si spèrdono interamente, quando i medesimi riduconsi ad angolo retto, se la polarizzazione dei due fasci è stata compiuta. Segue da questa sperienza che i raggi, polarizzati secondo lo stesso piano, modificansi scambievolmente come quelli di luce naturale, ma che cotesto

vicendevole influsso scema in ragione che i piani di polarizzazione si allontanano tra loro, e rendesi nullo quando questi si riducono ad angolo retto.

» Ecco un'altra sperienza che mena alla stessa illazione. Prendesi una lamina di solfato di calce o di cristallo di rocca parallela all' asse e di grossezza uniforme; si taglia in due, e ciascuna delle metà ponsi sopra di un' apertura di un piano opaco. Suppongo che le due metà siano rivolte in modo, che gli orli, che prima di divider le lamine eran contigui, sieno paralleli, e però lo saranno anche gli assi. Or in questo caso vedesi un sol radunamento di frange nel mezzo dello spazio, illuminato egualmente che prima della divisione della lamina. Ma se facciasi girare una delle metà nel proprio piano, distruggendo così il parallelismo dei loro assi, si faran nascere due radunamenti di frange più deboli posti l' uno a destra l' altro a sinistra di quello di mezzo, ma perfettamente separati da esso; e ciò nella luce bianca quando le lamine di cristallo di rocca e di solfato di calce abbian solo un millimetro di grossezza. Egli è da notarsi, che il numero di larghezza delle frange, comprese tra il mezzo di questo radunamento e quello del radunamento centrale, è proporzionale alla grossezza delle lamine, trattandosi di cristalli della stessa natura, o la cui doppia rifrazione ha la stessa efficacia, come sono il cristallo di rocca e 'l solfato di calce. In ragione che l'angolo dei due assi aumenta, questi nuovi radunamenti di frange divengono sempre più spiccati, e prendono finalmente la loro maggior forza, quando gli assi delle due lamine sono perpendicolari tra loro; allora il radunamento centrale, che erasi gradatamente infievolito, sparisce del tutto, ed in suo luogo si vede una luce uniforme. Egli è mestieri concluderne, che i raggi, onde questi erano generati per interferenza, non hanno più scambievole azione tra loro. Egli è agevole di vedere, osservata la giacitura di queste frange, che esse derivavano dall' interferenza dei raggi, che han subita la stessa maniera di rifrazione nelle due lamine: imperocchè avendo proceduto con eguali velocità, debbono simultaneamente arrivare nel mezzo dello spazio illuminato, che corrisponde ad eguali cammini, purchè le due lamine abbiano la stessa grossezza e restino entrambe perpendicolari ai raggi, siccome qui è supposto. Laonde le frange del radunamento centrale eran formate dalla sopprapposizione di quelle che risultavano, 1° dalla interferenza dei raggi ordinarj della lamina sinistra con gli ordinarj della lamina destra; 2° dall' interferenza dei raggi straordinarj della prima lamina con gli ordinarj della seconda. I due radunamenti eccentrici per contrario risultano dall' interferenza dei raggi che han sofferto rifrazioni diverse nelle due lamine; e siccome i raggi ordinarj han maggiore velocità nel cristallo di rocca o nel solfato di calce, così intendesi, che, adoperando queste sorte di cristalli, il radunamento della parte sinistra deve esser formato dalla riunione dei raggi straordinarj della lamina sinistra con gli ordinarj della destra, ed il radunamento della parte destra dalla riunione dei raggi straordinarj della lamina destra con gli ordinarj della sinistra. Ciò posto, trattasi ora di determinare le direzioni della polarizzazione, che favoriscono o disturbano il vicendevole influsso. L'analogia dimostra, che il modo di polarizzazione della luce deve essere lo stesso nelle lamine sottili e nei cristalli molto grossi per dividerla in due fasci distinti. Ma siccome cotesta ipotesi può diventare obbietto di disputa, ed opponsi all' ingegnosa teorica di uno dei più solenni fisici, noi non la presenteremo dapprima come un principio certo, e farem ricorso ad un' esperienza diretta per determinare il piano di polarizzazione de' raggi ordinarj e straordinarj, che escono da queste lamine, che abbiamo supposto avere la grossezza di uno o due millimetri. Questa grossezza è sufficiente per tagliarne gli orli a sbieco, ed avere per questa forma prismatica la separazione de' raggi ordinarj e straordinarj: si conoscerà allora che essi sono veramente polarizzati, i primi secondo la sezion principale, e gli altri perpendicolarmente alla stessa. Se alcuno non rimanesse ancor persuaso esser questo il loro modo di polarizzazione nell' uscire da ciascuna lamina, quando le superficie di essa son parallele, ne troverà un' altra dimostrazione nei fatti di cui sopra abbiam parlato, partendo da' principj che abbiamo fermati parlando delle esperienze di Arago, i quali sono d' altronde rifermati da quella, che ci faremo tra poco a descrivere. Se per l' opposto più non si dubita del verso della polarizzazione dei raggi ordinarj e straordinarj, la presente esperienza diventa una seconda dimostrazione di questi principj. E per fermo, quando gli assi delle due lamine aran paralleli, i raggi che avean sofferta la stessa rifrazione in questi due cristalli si trovavan polarizzati secondo la stessa direzione, e quelli di nomi contrarj secondo direzioni rettangolari: ecco perchè il radunamento delle

due frange di mezzo, che proveniva dall'interferenza dei raggi dello stesso nome avea la sua maggiore intensione, ed i due altri che risultavano dalla interferenza dei raggi di nomi contrarj non comparivano ancora. Ma quando gli assi delle due lamine formavan tra loro un angolo obbliquo, per esempio di 43°, i raggi di nomi contrarj e quelli dello stesso nome potevano ad un tempo operare gli uni sugli altri, imperciocchè i loro piani di polarizzazione non erano più rettangolari, ed i tre radunamenti di frange apparivano. Quando finalmente gli assi diventano perpendicolari fra loro, i raggi dello stesso nome trovansi polarizzati secondo direzioni rettangolari, e 'l radunamento centrale generato da essi svanisce, nell'atto che i raggi ordinarj della lamina sinistra sono allora polarizzati parallelamente ai raggi straordinarj della lamina destra, donde deriva che il radunamento della parte destra, generato da essi, prende la sua maggiore intensione. Dicasi lo stesso del radunamento della parte sinistra, il quale deriva dall'interferenza de' raggi ordinarj della lamina destra con gli straordinarj della sinistra.

» Ecco una terza sperienza, che riferma le conseguenze che noi abbiam ricavate dalla prima. Avendo fatto pulire due facce opposte di un romboide di spato calcareo, le quali eran diligentemente spianate e perfettamente parallele, tagliai l'anzidetto romboide perpendicolarmente a coteste facce, ed ottenni in tal modo due romboidi di eguali grossezze, nei quali il cammino dei raggi ordinarj e straordinarj esser dovea sotto la stessa incidenza e perfettamente simile. Io li posi l'uno innanzi l'altro, in modo che i raggi partiti dal punto luminoso, dopo aver attraversato il primo romboide, dovessero penetrare nel secondo, e usando ogni diligenza, perchè le facce fosser perpendicolari alla direzione dei raggi incidenti; ancora, la sezione principale del secondo romboide era perpendicolare a quella del primo, in guisa che i quattro fasci che ne nascevano erano generalmente ridotti a due; il fascio ordinario del primo romboide era rifratto straordinariamente nel secondo, e lo straordinario di quello rifratto ordinariamente in questo. Da questa disposizione derivava che le differenze dei cammini, nascenti da quella delle velocità dei raggi ordinarj e straordinarj, trovavansi compensate per rispetto ai due raggi che avevano attraversato i romboidi: essi d'altronde incrocicchiavansi sotto un angolo picciolissimo in guisa che le frange avrebber dovuto avere una larghezza più che sufficiente per esser osservate; e frattanto, quantunque tutte le condizioni, necessarie alla generazione delle stesse per li casi ordinarj, si fossero diligentemente adempiute, pure non potei giammai giungere a farle apparire. Mentre le cercava con ogni diligenza, tenendo una lente d'ingrandimento innanzi all'occhio, faceva variare lentamente la direzione di uno dei romboidi, deviandolo ora a destra ora a sinistra, affin di compensare gli effetti risultanti da qualche differenza di grossezza se ancor ve ne fosse; ma ad onta di questi tentativi per molte volte replicati, non vidi mai frange, e ciò non deve punto recar maraviglia, dopo quello che abbiam veduto per le altre esperienze, imperciocchè i due raggi uscendo trovavansi polarizzati ad angolo retto; il che d'altronde dimostrava sufficientemente, che l'assenza delle frange non dipendeva dalla difficoltà di arrivar per tentativi ad una perfetta compensazione, e che si giungeva facilmente a farle apparire adoperando la luce ch'era stata polarizzata prima d'entrare nei romboidi, cui facea patire una nuova polarizzazione dopo la sua uscita.

» Egli è dunque compiutamente dimostrato, mercè l'esperienza che ho riferito, che i raggi polarizzati ad angolo retto non possono esercitare tra loro alcuna scambievole azione, o in altri termini che la loro riunione genera sempre luce egualmente intensa sian qualunque le differenze percorse dai due sistemi di onde che s'incontrano.

» È un altro fatto degno di nota, che polarizzati una volta secondo direzioni rettangolari, più non basta che sien ridotti ad un sol piano di polarizzazione, perchè possan dare segni apparenti di loro azione scambievole. E per fermo se nell'esperienza d'Arago, o in quella che io ho dopo descritta, si faccian passare i raggi usciti dalle due fessure, i quali sian polarizzati ad angolo retto, attraverso di una pila di lastre inclinate, non veggonsi frange in qualunque modo si volga il piano d'incidenza. In vece di adoperare una pila puossi adoperare un romboide di spato calcareo: se la sua sezione principale s'inclini per 45° sui piani di polarizzazione dei fasci incidenti, in modo che essa divida in due parti uguali l'angolo che questi fanno tra loro, ciascuna immagine conterra la metà di ciascun fascio; e queste due metà avendo lo stesso piano di polarizzazione nella stessa immagine, dovrebbero generarvi delle frange, se bastasse di ridurre i raggi ad un medesimo piano di polarizzazione per far rinascere gli effetti apparenti di loro scambievole azione. Ma per tal modo non si posson

mai avere delle frange, fintatochè i raggi non sien polarizzati secondo uno stesso piano, prima d'essere divisi in due fasci polarizzati ad angolo retto.

» Quando per l'opposto la luce ha patito questa antecedente polarizzazione, allora l'interposizione del romboide fa ricomparire le frange. La migliore direzione, che si può dare al primitivo piano di polarizzazione, è quella che divide in due parti eguali l'angolo dei piani rettangolari, secondo i quali i due fasci son polarizzati in secondo luogo, imperciocchè allora la luce incidente si divide egualmente fra loro. Supponghiamo per fermar le idee che il primiero piano di polarizzazione sia orizzontale: sarà mestieri che i piani della seguente polarizzazione impressa a ciascuno dei due fasci, siano inclinati per 45° sul piano orizzontale, l'uno al di sopra e l'altro al di sotto, in modo che restino tra loro perpendicolari. Questa rettangolare polarizzazione puossi avere o mercè due piccole pile, come quelle adoperate nelle sperienze di Arago, o con due lamine i cui assi sien disposti ad angolo retto, o finalmente con una sola lamina cristallizzata. Ci atterremo a quest' ultimo caso, giacchè gli altri due presentano fenomeni del tutto simili.

» Per divider la luce in due fasci che s'incrociano sotto un piccolo angolo e che possan così far nascere delle frange, l'apparecchio dei due specchi è generalmente da anteporsi al piano opaco forato con due fessure, imperocchè esso genera frange più brillanti; anche perchè si può per tal modo dare immediatamente ai due fasci la polarizzazione antecedente, necessaria per la nostra sperienza: per la qual cosa basta che i due specchi sian di vetro non amalgamato, ed inclinati per 35° circa coi raggi incidenti; è mestieri annerirli dalla parte di dietro per distruggere la seconda riflessione. Presso ai medesimi, là dove passano i raggi riflessi, e perpendicolarmente alle direzioni dei medesimi, ponsi una lamina di solfato di calce, o di cristallo di rocca, parallela all'asse, della grossezza di uno o due millimetri, inclinando la sua sezione principale per 45° sul piano della primiera polarizzazione, che noi abbiam supposto orizzontale. Ordinate così le cose, si vedrà un sol radunamento di frange attraverso della lamina, siccome vedeasi prima della interposizione della stessa, ed anche nella giacitura di prima. Ma se ponsi dinanzi alla lente d'ingrandimento una pila di lastre, inclinata per un verso orizzontale o verticale, si vedrà da ciascun lato del radunamento centrale un altro radunamento di frange tanto più lontano dal primo, per quanto più grossa sarà la lamina cristallizzata. Se in vece della pila di lastre pongasi un romboide di spato calcareo, la cui sezione principale sia diretta orizzontalmente o verticalmente, in ciascuna delle due immagini generate dal medesimo vedrannosi i due sistemi di frange addizionali, che aveansi per la interposizione della pila di lastre; è degno di nota, che queste due immagini sono complementarie l'una dell'altra, cioè che le zone oscure dell'una corrispondono alle brillanti dell'altra.

» In quest' esperienza vediamo rifermati i principj renduti aperti dalle antecedenti. I raggi che han patito delle rifrazioni di nomi contrarj, non possono esercitare tra loro azione scambievole, imperciocchè uscendo dalla stessa lamina, nel caso che consideriamo, essi trovansi polarizzati secondo direzioni rettangolari, e per conseguenza non possono avere esistenza i radunamenti della parte destra e della parte sinistra, purchè non si restituisca la scambievole azione agli anzidetti raggi, riducendoli nello stesso piano di polarizzazione; il che si fa colla interposizione della pila di lastre o del romboide. Le frange in tal modo generate sono tanto più distinte, per quanto i due fasci di nomi contrarj, ond'esse vengon formate, si eguagliano in intensione; ed ecco perchè la direzione della sezione principale del romboide è più acconcia all'apparizione delle frange. Quando la sezione principale del romboide è parallela o perpendicolare a quella della lamina, i raggi ordinariamente rifratti dalla lamina passano interamente in un'immagine, in vece di dividersi tra loro, e tutti gli straordinarj vanno nell'altra, in modo che tra essi non vi può esser più interferenza; e però i radunamenti addizionali spariscono, ciascuna immagine presenta solo le frange che derivano dall'interferenza de' raggi dello stesso nome, cioè quelle che compongono il radunamento centrale.

» Questi due radunamenti di frange addizionali, che la luce polarizzata presentava nella prima giacitura del romboide, ci porgono uno de' metodi più precisi per misurare la doppia rifrazione e per istudiarne la legge. E per fermo, la loro giacitura eccentrica deriva dalla differenza degli spazj percorsi da' raggi ordinarj e straordinarj, che sono usciti dalla lamina; e può giudicarsi del numero d'ondulazioni di cui i raggi straordinarj della parte destra son rimasti indietro agli ordinarj della sinistra, mercè il numero di larghezze delle frange comprese tra il mezzo del radunamento della parte destra e quello del radunamento centrale. Cotesta differenza di spazj si deter-

mina anche meglio, misurando l'intervallo compreso tra i centri de' due radunamenti estremi, il quale è doppio della distanza che passa dal mezzo di ciascuno di questi al mezzo del radunamento centrale. La luce bianca è più acconcia per coteste osservazioni, primo perchè essa è più viva, e secondo perchè essa rende la zona centrale di ciascuna radunamento più facile ad esser ravvisata. Paragonando poscia la grossezza della lamina con la differenza di spazj osservata, se ne inferisce la ragione delle velocità de' raggi ordinarj e straordinarj. »

CAPO III.

COLORI DELLA LUCE POLARIZZATA.

459. *Tinte colorate dalle lamine parallele all'asse.* — Un fascio di luce bianca polarizzata si colora di tinte vivacissime, ogni volta che *sotto certe condizioni* attraversa una lamina di un corpo a doppia rifrazione, tagliata parallelamente all'asse.

Per studiare cotesti notevoli fenomeni di colorazione, ci gioveremo in preferenza dell'istrumento di Noremberg (*fig.* 308): la luce delle nubi o quella di una lampana è ricevuta sopra una larga lastra *g* non amalgamata, sulla quale si polarizza; riflessa verso lo specchio *m*, essa è da questo inviata per diffondersi secondo l'asse dello strumento, dopo avere attraversata la stessa prima lastra *g*. Cotesto fascio polarizzato è quindi osservato mercè un'analizzatore qualunque, cioè con una seconda lastra mobile *q*, simile a quello della fig. 304, o con un vetro nero fisso *b* inclinato sotto l'angolo di polarizzazione, o con l'analizzatore *c* del Delezenne (che somiglia all'antecedente, ma che mena i raggi secondo l'asse per una riflessione totale), o con un prisma *d* di Nicol, o finalmente con una pila di lamine *s*, una turmalina *r*, o un prisma acromatizzato *e* a doppia rifrazione. Tutti cotesti pezzi hanno un assetto, che si accomoda nell'anello *s* dove posson girare, e ciascuno di essi porta un indice che sulla circonferenza graduata dell'anello dinota la giacitura del pezzo. In *t* trovasi un altro anello graduato, sul quale ponsi l'assetto di un vetro parallelo *v*, il quale può essere inclinato a piacimento sul raggio polarizzato, o ridursi perpendicolare allo stesso; sul sostegno *v* si dispongon le lamine che voglionsi sottoporre all'esperienza, sebbene in alcuni casi sia forza metterle direttamente sullo specchio *m*.

Ecco ora i fenomeni che osservansi, adoperando per analizzatore il prisma a doppia rifrazione, e ponendo sul sostegno una lamina di cristallo di rocca, le cui facce sian parallele tra loro ed all'asse, e la cui grossezza sia meno di 0,45 di millimetro.

1° La sezione principale del prisma essendo fermata nel piano primitivo di polarizzazione, mentre la lamina gira sul suo sostegno, quando giunge perpendicolare al raggio polarizzato si vede solo un'immagine bianca in quattro giaciture: immagine ordinaria quando la sezione principale della lamina coincide con quella del prisma, immagine straordinaria quando diventa a questa perpendicolare; in tutte le altre giaciture vi son due immagini sempre colorate delle stesse tinte, e sempre perfettamente complementarie, imperciocchè esse danno bianco perfetto nella porzione in cui si soprappongono (*fig.* 324) e ciascuna passa, a vicenda, per la serie delle gradazioni prismatiche; coteste due immagini prendono il maggior grado di colorazione quando la sezione principale della lamina fa con quella del prisma angoli di $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$ di quadrante.

2° Se la sezione principale del prisma è perpendicolare al primitivo piano di polarizzazione, analoghi fenomeni si osservano; se non che l'immagine ordinaria prende il luogo della straordinaria, e questa il luogo di quella.

3° Quando la sezione principale del prisma non è nè parallela, nè perpendicolare al primitivo piano di polarizzazione, osservansi anche gli stessi fenomeni, cioè un'immagine nulla e l'altra bianca, quando le due sezioni principali del prisma e della lamina son parallele o perpendicolari tra loro; massima vivacità ne' colori, quando le sezioni fanno tra loro un'angolo misurato da un numero dispari di mezzi quadranti, e sempre le stesse tinte più o meno infievolite in tutte le giaciture intermedie.

Le lamine di cristallo di rocca di una grossezza maggiore di un mezzo millimetro circa, danno tinte assai deboli; ma tutte le lamine più o meno sottili danno varie tinte, le quali generalmente sono più forti quando minore è la grossezza. Ponendo in disamina le frange difratte e gli anelli colorati, abbiam veduto, che per ciascun color semplice v' hanno delle frange o degli anelli di primo, di secondo ordine, ec. ai quali corrispondono nella luce bianca diverse tinte composte; il che dà varj ordini di rosso, aranciato, ec. Ora osservando le tinte delle lamine cristallizzate della stessa materia e di grossezze diverse, il Biot ha sco-

perto che si generano gli stessi periodi, vale a dire che, regolando convenientemente le grossezze, si può fare una serie di lamine, le quali danno, per esempio, la prima il rosso di primo ordine, la seconda quello di secondo ordine, la terza quello di terzo ordine ec., e dal paragone di queste varie grossezze il Biot ha trovato le medesime seguire la serie de' numeri naturali 1, 2, 3, 4, ec. Mercè dunque questa semplice e notevole legge, basterà conoscere con quale assoluta grossezza in un cristallo si formi una tinta ben definita, per conoscere qual tinta sarà generata da un' altra qualunque grossezza, o quale grossezza sarà necessaria per generare un' altra tinta data.

I cristalli ad un asse possono sotto questo aspetto presentare grandissime differenze, imperciocchè il Biot, trova che una lamina di carbonato di calce, per esempio, parallela all'asse dovrebbe essere diciotto volte più sottile di una lamina di cristallo di rocca, anche parallela all'asse, per dare la stessa tinta. Ecco perchè egli è quasi impossibile di farsi a studiare cotesti fenomeni nel carbonato di calce.

460. *Teorica di Fresnel intorno ai colori delle lamine cristallizzate* — Sia *pp'* il piano primitivo di polarizzazione del fascio incidente (*fig.* 309), *ll'* la sezione principale della lamina cristallizzata che essa attraversa, *a* l'angolo *pcr*, *mm'* una perpendicolare ad *ll'*, *rr'* la sezione principale del prisma a doppia rifrazione, *b* l'angolo *pcl*, e *dd'* una perpendicolare ad *rr'*. Procuriamo di determinare le immagini che saranno generate, la loro rispettiva intensione, e la scambievole azione che i fasci ordinarj e straordinarj eserciteranno gli uni sugli altri.

Dinotiamo per 1 l'intensione del raggio polarizzato nel momento in cui cade sulla lamina cristallizzata.

Il fascio attraversando la lamina si partirà in due, l'uno ordinario e l'altro straordinario, i quali hanno per intensione:

il primo . . . $\cos^2 a = f_o$ polarizzato secondo *cr*;
il secondo. . $\text{sen}^2 a = f_s$ polarizzato secondo *cd*;

ma la lamina è troppo sottile perchè tra loro vi possa essere una sensibile separazione.

Attraversando il romboide, ciascuno di questi fasci elementari si partisce anche in due altri;

$\cos^2 a$ dà:
- $\cos^2 a \cos^2 (a-b) = f_o + {}_{o'}$ polarizzato secondo *cl*
- $\cos^2 a \,\text{sen}^2 (a-b) = f_o + {}_{s'}$ polarizzato secondo *cm'*

$\cos^2 a$ dà:
- $\text{sen}^2 a \,\text{sen}^2 (a-b) = f_s + {}_{o'}$ polarizzato secondo *cl*
- $\text{sen}^2 a \cos^2 (a-b) = f_s + {}_{s'}$ polarizzato secondo *cm*.

Le due porzioni polarizzate secondo *cl* prendono la stessa direzione per arrivare all' occhio, e compongono l'immagine ordinaria; di casi lo stesso delle due porzioni polarizzate secondo *cm* e *cm'* che compongono l'immagine straordinaria. Per la qual cosa ne derivano gli elementi che seguono:

per l'immagine ordinaria

$$\cos^2 a \cos^2 (a-b) = f_o + {}_{o'}$$
$$\text{sen}^2 a \,\text{sen}^2 (a-b) = f_s + {}_{s'}$$

per l'immagine straordinaria

$$\cos^2 a \,\text{sen}^2 (a-b) = f_o + {}_{s'}$$
$$\text{sen}^2 a \cos^2 (a-b) = f_s + {}_{s'} .$$

A prima giunta crederebbesi, che gli elementi di ciascuna di queste immagini debbano semplicemente tra loro sommarsi per comporre finalmente l'immagine ordinaria o la straordinaria: ma è d'uopo badare che i due elementi di ciascuna immagine non hanno la stessa velocità. E per fermo, nell' immagine ordinaria per esempio il fascio $f_o + {}_{o'}$ ha patito la rifrazione ordinaria nella lamina e nel romboide, nell'atto che il fascio $f_s + {}_{o'}$ ha patito la rifrazione straordinaria nella lamina e la rifrazione ordinaria nel romboide. La velocità ordinaria e la straordinaria essendo diverse, ne segue dunque una precedenza o un ritardo dell'uno de' fasci elementari sull' altro, e quindi un accordo o una discordanza di vibrazioni, che può risultare più o meno compiuta, come se questi fasci avessero veramente percorso spazi più o meno disuguali.

Sia *e* lo spazio percorso dal 1° fascio $f_o + {}_{o'}$, sia *e'*, lo spazio percorso dal 2° fascio $f_s + {}_{o'}$; $e-e'$ sarà la differenza degli spazj percorsi; e Fresnel in questo caso ha dimostrato (ved. cap. V, prop. 5) che l'intensione totale, in vece di esser composta dalla somma dei fasci componenti o da quella dei quadrati della loro velocità, trovasi rappresentata da questa somma *più il doppio prodotto di queste velocità moltiplicate* per $\cos 2\pi \frac{c}{d}$; π è la mezza circonferenza il cui raggio è 1; *c* è la differenza degli spazj percorsi, la quale qui è $e-e'$; *d* è la lunghezza di un' ondulazione per la maniera di luce che si considera.

Egli è agevole vedere dopo le cose dette che

l'intensione finalmente per l'immagine ordinaria diventa:

$$\cos^2 b - \text{sen}\,2a\,\text{sen}\,2\,(a-b)\,\text{sen}^2\,\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right).$$

L'intensione dell'immagine straordinaria può trovarsi con gli stessi principj. Fresnel per altro ha dimostrato, alla differenza degli spazj percorsi da due fasci componenti *doversi aggiungere una semi-ondulazione* quando *i loro piani di polarizzazione continuano ad allontanarsi l'uno dall'altro,* considerati da una sola parte della loro cumune sezione, fino a che siensi ridotti l'uno sul prolungamento dell'altro (ved. cap. V, prop. 3). Ora i due fasci $f_o + s'$ ed $f_e + s'$, onde componesi l'immagine straordinaria, sono polarizzati l'uno secondo ed' e l'altro secondo $c'd'$ prolungamento di cd; è mestieri dunque alla differenza $e-e$ degli spazi che han percorso nella lamina aggiungere una semi-ondulazione, che trovasi ancor prodotta pel rivolgimento del piano di polarizzazione. E però alla somma delle intensioni ovvero alla somma de' quadrati delle velocità, è mestieri aggiungere il prodotto delle suddette velocità moltiplicate per

$$\cos 2\pi\left(\frac{e-e'}{d}+\frac{1}{2}\right) = -\cos 2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right)$$

il che, per la intensione dell'immagine straordinaria, dà

$$\cos^2 a\,\text{sen}^2\,(a-b) + \text{sen}^2 a\cos^2\,(a-b) -$$

$$2\cos a\,\text{sen}(a-b)\,\text{sen}\,a\cos(a-b)\cos 2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right),$$

ovvero

$$(\text{sen}\,a\cos\,(a-b) - \text{sen}\,(a-b)\cos a)^2$$
$$+ 2\,\text{sen}\,a\cos\,(a-b\,\text{sen}\,(a-b)\cos a -$$

$$2\cos a\,\text{sen}(a-b)\,\text{sen}\,a\cos(a-b)\cos 2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right).$$

o finalmente

$$\text{sen}^2 b + \text{sen}\,2a\,\text{sen}\,2\,(a-b)\,\text{sen}^2\,\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right).$$

Son queste, dice Fresnel, le formole generali che danno l'intensione di ciascuna specie di luce omogenea nelle immagini ordinarie e straordinarie in funzione della lunghezza delle ondulazioni e della differenza $e-e'$ di spazj percorsi per rispetto ai raggi che hanno attraversato una lamina cristallina. Conoscendo la grossezza di questa e la velocità dei raggi ordinarj e straordinarj nel cristallo, sarà agevole il determinare $e-e'$. Nel cristallo di rocca e nella maggior parte dei cristalli a doppia rifrazione, $e-e'$ patisce picciolissime variazioni per rispetto alla varia natura dei raggi lucidi, in modo che cotesta differenza si può considerare come una quantità costante per tutti i cristalli, in cui la dispersione di doppia rifrazione è assai piccola per rispetto alla doppia rifrazione. Se dopo di aver calcolato la differenza di spazj $e-e'$, si divida successivamente per la lunghezza media dell'ondulazione di ciascuna delle sette principali specie di raggi colorati, e si pongan successivamente questi quozienti nelle surriferite espressioni, avrannosi le intensioni di ciascuna specie di raggi colorati nelle immagini ordinarie e straordinarie, ed allora la tinta di tali immagini potrà essere determinata con la formola empirica trovata dal Newton, per conoscere il colore risultante dal miscuglio di diversi raggi le cui rispettive intensioni fossero note. Ecco perchè le formole generali da cui si ha l'intensione di ciascuna specie di luce omogenea, in funzione della lunghezza delle sue ondulazioni, debbonsi considerare anche come l'espressione della tinta generata dalla luce bianca.

Ritorniamo ora alle formole generali per discutere in alcuni casi particolari.

Immagine ordinaria:

$$\cos^2 b - \text{sen}\,2a\,\text{sen}\,2\,(a-b)\,\text{sen}^2\,\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right).$$

Immagine straordinaria:

$$\text{sen}^2 b + \text{sen}\,2a\,\text{sen}\,2\,(a-b)\,\text{sen}^2\,\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right).$$

1° La somma delle intensioni dei due fasci riproduce l'intensione primitiva che è stata presa per unità.

2° Sotto l'incidenza perpendicolare che qui consideriamo, la differenza degli spazj percorsi, in tutt' i cristalli, è proporzionale alla grossezza, ed in ciascun cristallo deriva anche dalla differenza della velocità del raggio ordinario e del raggio straordinario, o degl' indici di rifrazioni corrispondenti a queste due maniere di raggi. In un cristallo in cui gl' indici sien quasi eguali, sarebbe mestieri di una certa grossezza, affinchè si avesse, per esempio, il rosso del primo ordine, nell'atto che per avere la stessa tinta basterebbe una grossezza assai piccola, se l'indice ordinario differisce molto dallo straordinario.

3° Quando la differenza degli spazj percorsi è uguale a molte ondulazioni, le immagini son bianche siccome accade nelle lamine sottili, e per la ragion medesima. Fuori di questi casi le immagini possono essere anche bianche per le ragioni delle quali ci faremo a discorrere.

4° La condizion necessaria affinchè nelle

immagini non vi sian colori, è, siccome è chiaro, che il termine che varia colla lunghezza delle ondulazioni sia nullo, imperciocchè allora i raggi di tutti i colori avranno intensioni uguali e genereranno il bianco. La condizione per la bianchezza delle immagini è espressa da

$$\text{sen}\, 2a\, \text{sen}\, 2(a-b)=0$$

ed essa può esser soddisfatta da

$$a=0,\ a=1^q,\ a=2^q,\ a=3^q$$

o da

$$b=a,\ b=1^q+a,\ b=2^q+a,\ b=3^q+a.$$

Per la qual cosa le immagini son tutte bianche: primieramente quando la sezione principale della lamina è parallela o perpendicolare al piano primitivo di polarizzazione; secondo quando la sezione principale della lamina è parallela o perpendicolare alla sezione principale del romboide. Tutto questo può essere agevolmente inteso *a priori*; imperciocchè nel primo caso il fascio soffre una sola rifrazione attraversando la lamina, e nel secondo attraversando il romboide.

5° La condizione necessaria perchè le immagini sien colorate da tinte più forti, è, siccome è chiaro, che il termine che varia colle lunghezze delle ondulazioni giunga al suo massimo, e questo accade quando il suo coefficiente è uguale all'unità, ovvero quando si ha

$$\text{sen}\, 2a\, \text{sen}\, 2(a-b)=1.$$

Questa condizione è soddisfatta da

$$a=45^\circ \text{ e } b=0^\circ$$

il che dà:

$$\text{immagine ordinaria},\ \cos^2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right),$$

$$\text{immagine straordinaria},\ \text{sen}^2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right).$$

Laonde i colori più vivi osservansi, quando l'asse della lamina fa un angolo di 45° col piano primitivo di polarizzazione, e quando nello stesso tempo la sezione principale del romboide è parallela a questo piano: questo in fatti l'esperienza conferma.

6° Il *piano definitivo* di polarizzazione può essere agevolmente determinato in una maniera generale nell'una e nell'altra immagine.

Se la differenza degli spazj percorsi è uguale a 0^q, o ad un numero pari di semi-ondulazioni, si avrà

$$e-e'=\frac{2nd}{2},\ \text{ovvero}\ \frac{e-e'}{d}=n.$$

Potendo n ricevere tutt' i valori interi 0, 1, 2, ec., si avrà

$$\text{sen}^2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right)=\text{sen}^2 n\pi=0.$$

Onde per $b=0$, l'immagine straordinaria svanisce, nell'atto che l'ordinaria diventa eguale ad 1, e questa allora trovasi all'emergenza interamente polarizzata nel piano primitivo di polarizzazione.

Se la differenza degli spazj percorsi è uguale ad un numero impari di semi-ondulazioni, si avrà

$$e-e'=(2n+1).\frac{d}{2},$$

ovvero

$$\frac{e-e'}{d}=\left(\frac{2n+1}{2}\right),$$

e

$$\text{sen}^2\pi\left(\frac{e-e'}{d}\right)=\text{sen}^2\pi\left(\frac{2n+1}{2}\right)=1.$$

Onde per $b=2a$ l'immagine straordinaria anche sparisce, nell'atto che l'ordinaria diventa eguale ad 1, e questa trovasi allora alla sua emergenza interamente polarizzata nell'azimut $2a$, o nella sezione principale del romboide.

Se la differenza degli spazj percorsi non è nè un numero pari nè un numero dispari di semi-ondulazioni, nessuna immagine potrà sparire, ed i fasci emergenti saranno allora per diverse direzioni polarizzati.

Tutt' i risultamenti delle formole sono in fatti all' esperienza conformi.

Queste nozioni bastano a fare intendere i principj semplici ad un tempo e fecondi sopra i quali Fresnel ha fondata la sua bella teoria de'colori delle lamine cristallizzate. Noi non ci faremo ad applicare questi principj ai casi più intricati, che ancora dobbiamo porre in disamina; ma giova descriver la vera cagione di cotesti fenomeni, e far vedere che la disuguale velocità dei raggi, ordinario e straordinario, ingenera precedenze o ritardi tra le diverse ondulazioni, e però interferenze da cui nascono i colori.

Solo per maggior semplicità abbiam supposto il cristallo ad un asse, imperciocchè ne'cristalli a due assi i fenomeni accadono nella stessa guisa: se non che la linea rr' (*fig.* 309) deve essere allora l'*asse principale*, cioè la linea che divide in due parti eguali l'angolo acuto dei due assi, e la linea dd' deve essere l'*asse secondario*, ossia la linea che divide i loro angoli ottusi,

La linea perpendicolare all'asse principale ed all'asse secondario chiamasi anche *asse terziario*; di questo dovrem tener conto appresso. Aggiungeremo solo qui, che il solfato di calce, che ha i suoi due assi nel piano delle lamine, che si divide così facilmente in sottili foglie ed ingenera vivissimi colori, è uno dei cristalli più acconci a studiare i fenomeni di cui è parola.

Aggiungi che, per osservare cotesti fenomeni con la luce solare, facendo cadere le immagini sopra un piano, basta adattare all'imposta della camera oscura lo strumento espresso nella figura 312, il quale somiglia il microscopio solare; imperciocchè è composto come questo di uno specchio di riflessione *a*, di una lente *b* di 22 centimetri di fuoco, ed anche talvolta di una terza lente *c* di un fuoco molto più corto. La luce generalmente è abbastanza polarizzata per la riflessione dello specchio *a*; la lamina accomodata sopra un diaframma la riceve prima della sua incidenza sulla lente *b*; e la lente *c*, posta ad una distanza quasi eguale alla somma delle distanze de'fuochi solari delle lenti *b* e *c*, projetta l'immagine sopra un piano; allora basta porre in *d* un prisma a doppia rifrazione, e girarlo convenientemente per osservare sul piano i fenomeni che abbiamo descritti.

461. *Anelli colorati ne' cristalli ad un asse.*— Quando ponsi tra due turmaline una lamina di spato d'Islanda, perpendicolare all'asse, avente da 1 a 20 o 30 millimetri di grossezza, e si guardi il cielo attraverso di essa, ponendo l'occhio dietro la seconda turmalina, osserverannosi i brillanti fenomeni rappresentati nelle figure 325, 326 e 327; se le turmaline sono incrocicchiate, si vedrà nera la croce (*fig.* 325) ed una bella serie di anelli colorati; se le turmaline son parallele, la croce si vedrà bianca (*fig.* 327) e gli anelli saranno complementari degli antecedenti; finalmente se le turmaline sono soltanto oblique, vedesi (*fig.* 326) la croce nera che si altera, gli anelli neri che si spostano, e il cambiamento che avviene a poco a poco, per passare dalla figura 325 all'altra 327 o al contrario, secondochè si va dall'incrocicchiamento al parallelismo, o da questo a quello. La giacitura poi della lamina stessa è del tutto indifferente: la rotazione di questa non altera in alcun modo i fenomeni, purchè non abbia dei punti irregolarmente cristallizzati.

Quando s'illuminano le turmaline coi varj colori dello spettro, e quando innanzi all'occhio si pongon dei vetri i quali non fanno passare altro fuorchè il rosso, il turchino, il verde o il violetto, tutti gli altri colori sparendo siccome è naturale, si vedrà una serie di anelli alternativamente oscuri e colorati della sola luce semplice incidente, indi una croce nera, nel caso dell'incrocicchiamento delle turmaline, ed una croce colorata della stessa luce, nel caso del loro parallelismo. I diametri degli anelli crescono con la rifrangibilità della luce che ingenerano. L'assoluta grandezza degli anelli scema in ragion che cresce la grossezza della lamina; essi finalmente spariscono quando la lamina è troppo grossa; intanto quando più non si veggono con la luce bianca, possonsi vedere con la lampada *monocromatica*, cioè con la luce giallo-paglia dell'alcool salato, sebbene sian molto piccioli e riuniti.

Simili fenomeni osservansi ne' cristalli ad un asse, come il cristallo di rocca, la turmalina, la zirconia, il nitrato di soda, la mica, l'iposolfato di calce, l'apofillite, ec. ec.; noi intanto dobbiamo osservare, che forse fra tutti i cristalli lo spato d'Islanda è quello che ingenera apparenze regolari e più semplici. Nel cristallo di rocca, per esempio, (*fig.* 328) la croce sparisce per effetto della *polarizzazione circolare* della quale discorreremo appresso; negli altri cristalli ad un asse, come nell'apofillite, l'ordinamento de' colori rimane alterato, imperciocchè certamente accade che l'asse ottico de' varj colori non è perfettamente nella stessa direzione.

Nei casi più semplici il fenomeno degli anelli si rannoda all'antecedente teoria di Fresnel; ma se trattasi di discutere il caso generale, il calcolo diventa molto intrigato da non permetterci di qui esporlo; d'altronde non ancora si son fatte sufficienti esperienze sulla precisa misura degli anelli, per verificare la teoria in tutte le applicazioni. È mestieri dunque limitarci ad indicare in un modo generale l'azione che si appalesa ne' cristalli perpendicolari all'asse, e che per tal modo fan nascere i colori.

Sia *pp'* (*fig.* 310) la lamina perpendicolare all'asse, ed *o* la giacitura dell'occhio. La parte del fascio incidente che diviene visibile forma una maniera di cono luminoso *bob'*, il cui vertice *o* è nell'occhio, la cui base circolare ha un diametro *bb'*, variabile in ragion della distanza; ed il cui asse *co* coincide con l'asse del cristallo. I varj raggi di questo cono sono diversamente manierati, quelli che son vicini all'asse *co* attraversano la lamina senza deviamento, e quelli che trovansi verso gli orli *abo* attraversandola obliquamente, soffriranno le due rifrazioni ordinaria e straordinaria; ma coteste due rifrazioni si compion sem-

pre nello stesso piano, imperciocchè ogni sezione perpendicolare che passa per *co* è una *sezione principale*; ancora, i diversi raggi egualmente lontani dall'asse posti sopra una stessa circonferenza, patiranno modificazioni diverse ne' loro piani di polarizzazione: imperciocchè se *dbd'b'* (*fig.* 311) rappresenti la sezione del fascio, nel momento che esso esce dalla lamina cristallizzata, e *bb'* sia il primitivo piano di polarizzazione, egli è chiaro, 1° che i raggi *b* e *b'* restan polarizzati nel piano primitivo, imperciocchè il loro piano di polarizzazione coincide con la sezione principale *bb'* ch'essi attraversano; 2° che i raggi *d* e *d'* restano similmente polarizzati nel loro piano primitivo, imperocchè il loro piano di polarizzazione è perpendicolare alla sezione *dd'* ch' essi attraversano; 3° che i raggi come *f'* si partiscono in due altri, l'uno ordinario polarizzato secondo *f'h*, l'altro straordinario polarizzato secondo *f'k*: or questi ultimi raggi nel dividersi in tal modo prendono necessariamente diverse velocità, l'ordinario precedendo lo straordinario o all'opposto, secondochè il cristallo è positivo o negativo; ed allontanandosi progressivamente dall'asse *co*, vedesi che questa precedenza diventa successivamente eguale ad un numero pari o dispari di semiondulazioni. Guardandosi ora con la turmalina un fascio in tal guisa modificato, è agevole l'intendere che debbano risultarne degli anelli ed una croce nera o bianca, secondo che la sezione principale della turmalina sia parallela o perpendicolare al piano primitivo di polarizzazione *bb'*. Per determinare anticipatamente l'ordine delle tinte e l'assoluta grandezza degli anelli, basterebbe conoscere il sito dell'occhio, la grossezza della lamina, e le velocità ordinaria e straordinaria corrispondenti a ciascuna specie di luce semplice.

Coteste indicazioni bastano a fare intendere la cagione del fenomeno, e le principali condizioni necessarie perchè esso si appalesi.

Ora si comprende quanto facilmente le esperienze si possono variare, tanto con la luce ordinaria, ricevendo gli anelli nell' occhio, quanto con la luce solare, projettandoli sopra un piano. Nel primo caso, siccome non accade di dover prendere misure, adoperasi la pinzetta a turmaline (*fig.* 313); se poi si debbon prendere misure, allora si può comodamente fare uso dello strumento del Soleil figlio (*fig.* 315). La luce polarizzata dallo specchio *a* è concentrata da una lente *b* sopra la lamina *t*; due altre lenti *c* e *d* fanno da oculare, e si guarda con la turmalina *t*; le tre lenti *b*, *c*, *d* hanno tutte la stessa distanza focale di tre centimetri; l'intervallo tra le due ultime è poco meno della somma delle loro distanze focali, e la lamina trovasi a pari tempo nel fuoco di *b* ed in quello di *c*. Onde *d* è una lente d'ingrandimento con cui guardasi l'immagine reale degli anelli fatta nel fuoco di *c*: un micrometro convenientemente disposto tra le due ultime lenti può dare assai giuste misure. La pinzetta *p*, la quale tiene il cristallo, ha un moto di rotazione sopra un cerchio graduato, che serve a misurare l'angolo degli assi ne' cristalli a due assi, siccome di corto vedremo.

Per fare coteste esperienze, mercè la luce solare, si adopera lo strumento della figura 312: la lamina sottoposta all'esperienza, e la turmalina che deve addirizzare i piani di polarizzazione, pongonsi allora tutte e due presso il comune fuoco delle lenti *b* e *c*, e gli anelli sono projettati sopra un piano convenientemente disposto come le immagini del microscopio solare.

462. *Anelli colorati ne' cristalli a due assi.* — Quando tra due turmaline si pone una lamina di nitrato di potassa, tagliata perpendicolarmente all' asse di cristallizzazione, si osservano i fenomeni rappresentati dalle figure 330 *a*, *b*, *c*: si hanno quelli della figura 330 *a*, quando gli assi delle turmaline sono incrocicchiati ed il cristallo abbia una giacitura conveniente; volgendo poi a poco a poco il cristallo, senza muovere le turmaline, si ha la figura *b*; indi l'altra *c*, quando il cristallo ha descritto un arco di 45°; è finalmente la figura *a* orizzontale, quando ha descritto un quadrante.

Herschell, che ha studiato cotesti fenomeni con sagacia pari alla precisione, ha fatto vedere che ne' cristalli a due assi i colori sono distribuiti sopra *lemniscate*, ossia curve a due centri (*fig.* 314), aventi questa proprietà che per ciascuna il prodotto de' raggi vettori *cm* e *cm'*, è costante, ed uguale al prodotto della metà dell' intervallo de' centri per un coefficiente noto, che varia da una curva all' altra.

Qui è chiaro che il doppio sistema di anelli è generato da' due assi del cristallo, ed il centro di ciascun sistema dinota il prolungamento dell' asse intorno al quale si genera.

Facendo l'esperienza alla lampada monocromatica si posson contare molte curve di più intorno a ciascun centro.

L' apparecchio della figura 315 può essere utile a trovare l'angolo de' due assi: per la qual cosa basterà porre due fili incrociati nel fuoco della lente *d*, disporre il cristallo in guisa che i due centri degli anelli sieno in un

piano verticale, e far muovere la pinzetta per ridurre sussecutivamente ciascun centro sulla croce de' fili: l'arco descritto dalla pinzetta è l'angolo degli assi.

Il carbonato di piombo ingenera presso a poco le stesse apparenze del nitrato di potassa: le sue lemniscate ed i suoi colori sono rappresentanti dalla figura 331: l'angolo de'suoi assi è di 17° 30'. Quando l'angolo degli assi è maggiore di 20 o 25°, non si possono più simultaneamente vedere i due sistemi di anelli nel campo dell' istrumento, e neppure nella pinzetta a turmalina; il sistema unico che è visibile si presenta allora sotto la forma espressa dalla figura 329: il tramezzo nero gira in verso contrario al cristallo, e descrive 90° nel tempo in cui questo ne descrive 90, talchè un quarto di giro basta perchè passi dalla giacitura orizzontale alla verticale ed al contrario, o piuttosto dal piano, che contiene nello stesso tempo il piano di polarizzazione e l'asse della turmalina, nell' altro a questo perpendicolare. Nell' una e nell' altra di queste giaciture il secondo centro trovasi sul tramezzo nero, e quindi è mestieri cercarlo facendo girare la pinzetta; ma siccome questa non muovesi se non intorno ad un asse orizzontale, così è forza porre il tramezzo verticale per determinare l'angolo degli assi.

Si può anche, mercè lo stesso apparecchio, rendere aperto, che, quasi in tutti i cristalli a due assi, i diversi colori semplici hanno diversi assi: nel carbonato di piombo, per esempio, i sistemi d'assi di tutti i colori sono nello stesso piano, ed il loro angolo decresce dal rosso fino al violetto; nel nitrato di potassa al contrario gli assi, compresi tuttavia nello stesso piano, fanno tra loro angoli i quali crescono con la rifrangibilità; in certi cristalli finalmente, come il borace, i sistemi d'assi de' varj colori sono in diversi piani. Ognun comprende che coteste singolari proprietà dei varj cristalli debbono arrecare notevoli modificazioni nella disposizione de'colori, e rendere talmente intrigata l'analisi di tutt' i fenomeni da non permetterci di qui esporla.

I brillanti colori, che appariscono siccome abbiam detto ne' cristalli a due assi, possono del pari osservarsi nella luce solare, nel modo stesso che abbiam veduto potersi fare ne' cristalli ad un asse.

463. *Frange iperboliche o parallele generate dai cristalli.* — Quando ad un raggio polarizzato si presenta una lamina di cristallo di rocca, di cui una faccia sia parallela all' asse e l'altra poco inclinata, in modo da fare un prisma molto allungato, si osservano ad occhio nudo delle zone rosse e verdi, purchè si guardi alquanto da lungi, e la grossezza del prisma verso il suo vertice non oltrepassi un terzo o un mezzo di millimetro. Queste zone parallele sono più vive, quando guardasi con la turmalina, ed è agevole il riconoscere che esse giungono al massimo di loro splendore, quando la sezione principale del prisma fa un angolo vicino ai 45° col piano di polarizzazione. Questo fenomeno riducesi a quelli che abbiam di sopra descritti, e di cui abbiamo del pari indicata la teorica.

Delezenne, il quale ha fatto sul proposito molte importantissime osservazioni (*Società delle Scienze di Lilla*), ha dimostrato che tutti i cristalli ad un asse, tagliati in lamine a facce parallele all' asse, e sufficientemente grosse, danno, nelle stesse circostanze, non più zone parallele, ma quattro sistemi di zone iperboliche distintissime, quando si guarda con la fiamma d'alcool salato, quantunque nulla si osservi con l'ordinaria luce bianca.

Quando, in vece di esporre all'esperienza un sol cristallo, si prendan per esempio delle lamine di cristallo di rocca di sette in otto millimetri di grossezza, lievemente prismatiche, parallele all' asse, e poste l'una sull'altra, in modo che gli assi siano incrocicchiati (*fig.* 316), osservansi del pari quattro sistemi di zone iperboliche perfettamente regolari (*fig.* 332); ma per questo è mestieri, dopo aver posti i due prismi nella pinzetta a turmalina, avvicinar molto l'occhio, imperciocchè, quando si guardi alquanto da lungi, le iperboli si trasformano in zone parallele (*fig.* 333). Le lamine oblique all' asse presentano del pari delle zone, quando vengono ad incrociarsi: onde quando si è lavorata una lamina di cristallo di rocca di quattro o cinque millimetri di grossezza, in modo che le sue facce sian parallele tra loro e ad una delle facce della piramide, che termina comunemente i cristalli naturali, ed indi questa lamina si tagli per sovrapporre le due metà, incrociando la linea della sezione, il sistema che ne risulta genera anche nella pinzetta a turmalina vivissime zone parallele. Se coteste zone sono nel piano di polarizzazione della luce che ha traversato la prima turmalina, esse presentano una zona nel mezzo tra due zone bianche, e colori dall' una e dall' altra parte (*fig.* 333 *a*): il contrario accade quando sono perpendicolari al piano primitivo di polarizzazione, imperciocchè allora osservasi una zona bianca tra due nere, e tutti gli antecedenti colori rovesciati (*fig.* 333 *b*).

Su questo fenomeno è fondato il *polariscopio del Savart*: questo strumento è sensibilis-

simo per iscoprire ogni minima traccia di luce polarizzata: è composto de' due quarzi obbliqui ed incrociati de' quali di sopra è detto; sopra di essi si pone una turmalina, il cui asse divide in due parti eguali l'angolo delle sezioni principali de' due quarzi. Ponendo la turmalina innanzi all'occhio, e guardando attraverso di questo sistema, osservansi delle zone, tosto che la luce incidente comincia ad essere in qualunque modo polarizzata. Allora basterà osservare la direzione della zona nel momento in cui è meglio distinta, per aver la direzione del piano di polarizzazione. Ho osservato, che un poco di pelle (*baudrouche*) traslucida, posta innanzi a' quarzi, rende più spiccate le zone.

Questo strumento è assai acconcio per osservare la polarizzazione della luce atmosferica.

Le lamine tagliate perpendicolarmente all'asse danno anche analoghe frange, quando son disposte come nell' apparecchio della figura 323, da poter essere inclinate a placimento sul raggio polarizzato.

464. *Varî fenomeni di polarizzazione che si generano ne' cristalli soprapposti, nei cristalli colorati, nel vetro temperato, scaldato o compresso, ec.* — Riuniamo sotto questo titolo diversi fenomeni, la cui cagione sebbene possa essere assegnata, pure perchè molto intrigati sembrano incapaci di esser sottoposti a precise misure, è quindi ad una disamina teorica così compiuta da essere da noi trattata.

Quando tra due turmaline ponsi un cristallo pependicolare all' asse, due lamine incrocicchiate di cristallo di rocca, che diano delle zone, gli anelli del cristallo perpendicolare patiranno una notevole alterazione, la quale varia con la inclinazione del sistema incrociato: nella figura 336 abbiam procurato di rendere aperte cotali apparenze. L' effetto non è simmetrico, e se ne possono ricavare de' metodi utili per conoscere la direzione del secondo asse sapendosi quella del primo. Il Delezenne ha fatto molte importanti sperienze sul proposito (*Società di Lillà*). Invece di fare l'esperienza nel modo come di sopra è detto, si può adoperare lo strumento della figura 315, ponendo il sistema incrociato presso la lamina perpendicolare tenuta dalla pinzetta, la sperienza può anche farsi alla luce solare con l' apparecchio della figura 312.

Al sistema incrociato sostituendo una lamina che dia gli anelli, possonsi avere analoghi risultamenti: variazione cioè negli anelli, spostamento ne' colori, nuove zone brillanti or circolari ed ora svariatamente contornate intorno all' asse unico e al sistema di assi.

Cristalli colorati. — Il Babinet ha osservato che i cristalli colorati positivi lascian passare più copiosamente la luce polarizzata in un piano parallelo all' asse o al piano degli assi, nell'atto che i cristalli negativi lascian meglio passare la luce polarizzata in un piano perpendicolare all' asse o al piano degli assi: così la turmalina che è negativa assorbe interamente l' immagine ordinaria, quando è molto grossa e molto colorata, nell' atto che il quarzo che è positivo assorbe l' immagine straordinaria quando è sufficientemente affumicato.

V' ha de' cristalli i quali son dotati di *dicroismo*, cioè che danno due colori, quando si guardano per differenti versi. Così la dicroite è gialla, bruna o di un bel turchino, secondo che è tagliata perpendicolarmente o parallelamente all' asse; l' idroclorato di potassa e di palladio per l' opposto è rosso o verde nelle stesse congiunture.

Vetro temperato. — Ponendo de' vetri temperati di varie forme sul sostegno o dell' apparecchio della figura 308, si veggono vivi colori, talvolta regolarmente, talvolta capricciosamente disposti, siccome osservasi nelle figure 337, 338 e 339: nella figura 337 il piano dell' analizzatore è perpendicolare al piano di polarizzazione, e gli orli del vetro fanno un angolo di 45° con questi due piani; nella figura 338 gli orli del vetro sono paralleli, al piano di polarizzazione; e nella figura 339, gli orli restando paralleli, l'analizzatore è stato voltato per 90°. Le figure 340 e 341 corrispondono per una lamina quadrata alle figure 338 e 337 della lamina rettangolare.

Si hanno gli stessi effetti dalla luce solare collocando i vetri nel sughero (*fig.* 322), per porli poi innanzi alla prima lente dell' apparecchio della figura 312. Cotesti fenomeni derivano apertamente dalla particolare ed accidentale disposizione, che il pronto raffreddamento ha dato alle molecole del vetro. Basta infatti riscaldare lentamente i vetri per fare sparire i colori.

Vetro riscaldato. — Dopo di aver fatto riscaldare fino a 100 o 150° la maniera di forma dinotata dalla figura 319, vi s' introduce un pezzo di vetro, il quale dilatandosi verso gli orli riduce tutte le sue molecole in uno stato di tensione, che spiega anche dei colori con la luce polarizzata. Il subito raffreddamento ingenera analoghi effetti.

Vetro piegato. — La figura 321 rappresenta uno strettojo, ordinato a piegare una lamina di vetro lunga e grossa; in questo stato l' anzidetta lamina manifesta delle zone colorate, quasi parallele tra loro ed alla piegatura.

Vetro compresso. — Comprimendo una lamina di vetro quadrata con lo strettojo della figura 320, secondo il verso della compressione, cominciano ad apparire i due assi.

464 *bis. Microscopio polarizzante di Amici.* Il signor Amici dà il nome di microscopio polarizzante ad un apparecchio importantissimo, che egli ha recentemente inventato, e che è ordinato allo studio de' fenomeni della polarizzazione cromatica. Questo apparecchio è rappresentato dalle figure 3 e 4, tav. 36; esso si compone 1° di una lastra di vetro di Germania *g*, la quale riceve la luce naturale o quella di una lampada, e che può inclinarsi più o meno sul suo sostegno: 2° di una pila di lastre *g'*, composta di 11 sottili lastre, liberamente disposte in una montatura comune, e da poter ricevere la luce riflessa sulla lastra *g*, e quindi rimandarla con altra riflessione nella direzione verticale dell'istrumento, ma sotto l'angolo di polarizzazione compiuta, cioè 35° circa; questo angolo si misura sul quadrante di cui l'asse di rotazione della pila ne costituisce il centro.

3° Di tre sistemi di lenti, disposte sul medesimo asse, i quali ricevono i raggi verticali, quasi compiutamente polarizzati, ad oggetto di modificarne la convergenza.

Di questi tre sistemi di lenti, il 1°, montato in un cortissimo tubo *a*, si compone di due lenti come si osserva nella fig. 3, e costituisce il sistema lenticulare rischiarante; lo stesso può muoversi a piacere.

Il 2°, montato in un tubo lungo *b*, non è che un oculare positivo o di Ramsden.

Il 3°, montato in un tubo *c*, si compone di un obbiettivo *d* e di un oculare d' Huyghens *e*; la distanza focale principale dell' obbietto *d* è di circa 60 millimetri, e l'insieme dell'obbiettivo e dell'oculare forma un microscopio, o se si vuole, un cannocchiale simile a quello del catetometro, che ingrandisce 12 in 15 volte circa.

4° Al di sopra dell'ultima lente dell'oculare *e*, trovasi un' analizzatore, ch' è un semplice rombo di spato.

Col microscopio polarizzante possonsi fare tre serie di esperimenti diversi: 1°. Si possono osservare gli anelli de' cristalli ad un asse *d* a due assi; 2° i vetri temperati, i fenomeni della colorazione delle lamine sottili e cose simili: 3° i fenomeni prodotti dal parallelepipedo di Fresnel, espressi nella tav. 34, *fig.* 318. Le sperienze si fanno nel seguente modo:

Prima serie. L' apparecchio si dispone in conformità della figura 3, avendo la cura di situare il tubo *b* sul tubo *c*, per modo che questo doppio sistema componga un vero cannocchiale, di cui le tre lenti del sistema *c* rappresentino l'obbiettivo, ed in guisa che l'apparecchio possa mettersi al giusto segno, guardando un oggetto lontano con l' oculare del tubo *b*; ed appena che quest' oggetto sarà veduto con chiarezza, i due tubi *b* e *c* saranno nella propria situazione per gli esperimenti; ciò fatto non hassi che a situare immantinenti sul sistema illuminante *a* i cristalli che vogliονsi sottomettere all'esperienza; cioè spato perpendicolare all' asse, ed altri cristalli ad un asse; mica a due assi, carbonato di piombo, nitrato di potassa, ec.; apofillite, broscite, zirconia, ec.; il cristallo di rocca che dà le spirali o le strisce, ec.

Il vantaggio di questo sistema di osservazione è, che richiede per le diverse esperienze picciolissimi pezzi, quasi microscopici, e frattanto appalesa tutt' i fenomeni in un modo il più soddisfacente: In effetti, un frammento di un millimetro quadrato di superficie e sottilissimo, che non farebbe veder nulla mercè la pinzetta a türmaline, appalesa nel rincontro la croce e le sue varie e notevolissime iperboli che distinguono questo cristallo. Sopra una lamina di mica sottile e stretta, si distinguono egualmente i due sistemi di assi che non sarebbero visibili altrimenti se non adoperando pezzi molto più larghi e grossi.

Un piccolissimo frammento di cristallo, situato fra due vetri, con una goccia di trementina, immantinenti appalesa quei colori che son sempre bastevoli per caratterizzare il cristallo.

Seconda serie. L'apparecchio si dispone come osservasi nella figura 4, il tubo *b* vien tolto egualmente che il sistema rischiarante *a*, il quale vien sostituito da una semplice lastra di vetro che serve per sostegno: sopra questa stessa lastra di vetro dispongonsi gli oggetti: Se questi sono molto piccoli, o se vogliοnsi osservare piccoli frammenti di apofillite di un millimetro, può l'obbiettivo *d* cambiarsi in un altro di fuoco più corto, il quale potrà dare, per esempio, con l'oculare *e* l' ingrandimento di 50 in 60 volte.

Terza serie. Nel modo che segue disponesi l'apparecchio. Il sostegno del sistema illuminante *a* è tolto; i parallelepipedi di Fresnel son disposti in un anello di metallo, e si adagiano sul sostegno *ik*, figure 3 e 4; la loro montatura è tale da poter essi facilmente esser separati, per modo che l' esperienza può farsi con un solo o adoperando entrambi. Noi abbiamo descritti i fenomeni che in tale congiuntura osservansi; qui però possonsi i me-

desimi studiare con maggiore estensione, poichè con facilità, si possono al di sopra de' parallelepipedi disporre le lamine di cristallo di rocca o altro, e ciò per osservare i colori prodotti dalla luce più volte riflessa fra i parallelepipedi, ed i piani più o meno inclinati sul piano di polarizzazione.

461 *ter*. *Microscopio foto-elettrico di Donné e Foucault*. Il Galy-Cazalat ebbe la felice idea di usare la luce di Drummond per fare un microscopio solare artificiale, denominandolo *microscopio a gas*, e vi riuscì compiutamente. La difficoltà però di preparare l' ossigeno e l'idrogeno, di regolarne le proporzioni, e di sostituire spesso i cilindri di calce carbonata, toglieva a questo apparecchio gran parte de'suoi vantaggi. I signori Donné e Foucault hanno escogitato di sostituire alla risplendente luce di Drummond la luce molto più risplendente de'carboni della pila, ed essi son riusciti a comporre un' apparecchio che non lascia niente a desiderare, sì per la intensità della luce, che per la chiarezza delle immagini. Il loro *microscopio foto-elettrico*, non è sotto alcun riguardo inferiore allo stesso microscopio solare, e l'abilità sì rimarchevole con cui il Foucault sa disporre gli oggetti per siffatte esperienze, rende questo apparecchio un mezzo preziosissimo, non solamente per le dimostrazioni, ma bensì per le ricerche anatomiche e fisiologiche. Il Donné ne ha fatto tesoro nell'ultimo insegnamento a'suoi numerosi uditori, ed in grazia della sua gentilezza e di quella di Foucault, possiamo darne la descrizione.

Questo apparecchio è rappresentato dalle fig. 14 e 15 tavola 36; la luce è prodotta da due prismi bislunghi *p* ed *n* di carbone delle storte dell'illuminazione a gas (*fig*. 14); questi prismi son fermati in due semicilindri più grandi, di *coke* agglutinati, i quali si adattano nelle ghiere metalliche *a* ed *a'*, che ha no comunicazione per mezzo di grossi fili di rame l'uno col polo positivo, l' altro col polo negativo di una pila di Bunsen di 60 coppie.

La corrente passa fra gli estremi de'prismi, i quali possono essere allontanati ad una certa distanza in cui lo splendore più vivo abbia luogo. È mestieri che i due prismi non siano l' uno sul prolungamento dell' altro, affichè la luce del polo positivo, ch' è sempre la più abbagliante, non venga impedita dal carbone del polo negativo. Questa luce una volta generata, è necessario mantenerla nello stesso luogo e col medesimo splendore; perlocchè i sostegni de' carboni possono ricevere diversi movimenti: possono essere avvicinati o allontanati per mezzo delle aste dentate *b* e *b'*; il polo *p* può inoltre innalzarsi o abbassarsi nel piano verticale, mediante il sostegno *c'* che lo mantiene e che gira sull' asse orizzontale *d*. Il polo negativo *n* può parimente muoversi, ma in un piano orizzontale, poichè il suo sostegno *c* può esso stesso muoversi intorno all'asse verticale *d'd''*. Per effetto di tali combinati movimenti si giunge a dare la luce, quasi fissa nello stesso luogo.

Facciamoci ora a vedere come siffatta luce è modificata in guisa da poter illuminare gli obbietti sottomessi all'esperienza e dargli un conveniente ingrandimento. Essa cade primamente sopra uno specchio amalgamato e concavo (*fig*.5) d'un raggio di 16 centimetri, ma per diminuire il calore si obbliga a traversare due volte il diaframma *e*; una volta prima della riflessione ed un'altra volta dopo; questo diaframma si forma da un vase a facce parallele e ripieno di una soluzione di allume.

Il punto luminoso del carbone trovandosi ad una distanza minore del raggio dello specchio ed un poco eccentrico, ne consegue che la sua immagine reale va a formarsi ad una distanza maggiore del raggio, e parimente eccentrica, ma alla parte opposta dell'asse. La giacitura dello specchio è tale che siffatta immagine reale va a cadere nell'apertura *f* del porta-oggetti. Lo specchio d'altronde ha due movimenti, l' uno di trasferimento parallelo, per mezzo dell'asta dentata *g*, di cui il bottone è in *g'*, l'altro d' inclinazione mediante l'arco dentato *h* e la vite perpetua che si muove mercè il bottone *h'*. Questi due movimenti si fanno operare di concerto con quelli del polo, per mantenere costantemente nel punto *f* l' imagine reale del punto luminoso. Ciò non pertanto per correggere con più sicurezza i piccoli sbalzi che potrebbero aver luogo, il porta-oggetti si muove intorno ad un asse superiore *i*, in guisa che basta dargli un leggiero movimento laterale, per ricondurre il centro della sua apertura in corrispondenza del punto più illuminato dell'imagine.

Con questo apparecchio, sempli e ed ingegnoso, l' oggetto che vuolsi sottoporre all' esperimento, trovasi illuminato; come lo sarebbe nel fuoco della lente, che altrove denominammo *focus* del microscopio solare, con la differenza, che in questo caso la luce rischiarante è perfettamente acromatica. Il rimanente dell' apparecchio non è che un sistema di lenti, perfettamente simile a quello del microscopio solare e che muovesi co' medesimi congegni. Esso è rappresentato in *k*; ad oggetto solamente di meglio circoscrivere il campo dell' apparecchio ed arrestare la luce late-

rale si dispone in m un diaframma ed in l un piano opaco intorno a questo diaframma. L'imagine può esser ricevuta a 4 o 5 metri di distanza. Gli oggetti son mantenuti nel loro posto in diversi modi; per mezzo della pinzetta a molle r, e da altri pezzi speciali non espressi nella figura.

L'esperienza degna di osservazione e molto importante, che può farsi con questo apparecchio, consiste nel prendere il punto luminoso esso medesimo come oggetto sottoposto all'ingrandimento del microscopio. Per ciò ottenere è necessario abbassare un poco i poli di carbone e renderli meno eccentrici, e far così cadere la loro immagine reale prima di giungere sul sistema delle lenti. Osservasi allora sul quadro l' immagine ingrandita dalla luce stessa, che si genera dalla corrente elettrica, siccchè è rappresentato dalla figura 13. In questo modo si ossevano tutt' i fenomeni che questa luce presenta; si distinguono gli archi luminosi o le aureole, che si generano e si rinnovano continuamente attorno i poli Le superficie sempre varianti de'carboni infiammati, e soprattutto il continuo trasporto delle molecole ponderabili che ha luogo dal polo positivo al polo negativo. Osservasi che questo si carica di tali molecole che si dispongono nella forma di un fungo allungato, nel mentre che l'altro si consuma vieppiù e s'incava come abbiamo cercato di rappresentare con la figura. Durante questo tempo lo splendore della luce s' indebolisce, ma bentosto questi fascetti aggiunti cadono, ed il polo positivo immantinenti riprende il primo splendore. È questo senza dubbio il mezzo più sicuro di studiare tali fenomeni, de'quali la scienza attende spiegazioni più soddisfacenti di quelle fin'ora immaginate.

CAPO IV.

POLARIZZAZIONE CIRCOLARE ATOMISTICA E MAGNETICA.

Dopo la scoverta recente del Faraday, le forze elettriche o magnatiche danno a certi corpi la proprietà d' esercitare sulla luce delle azioni nuove, analoghissime, almeno in apparenza, a quelle che costituiscono la polarizzazione circolare. Per questo ho riunito in uno stesso capo cotesti due ordini di fenomeni; ma nel tempo stesso, per evitare ogni confusione, ho proposto chiamare *polarizzazione circolare magnetica*, quella che si riferisce alla scoverta del Faraday, e *polarizzazione circolare atomistica*, quella dinotata da Fresnel semplicemente col nome di polarizzazione circolare, e che dipende, di fatto, dallo stato molecolare del corpi, come ha il Biot dimostrato.

§. 1. *Polarizzazione circolare atomistica*.

465. Fresnel ha dato il nome di polarizzazione circolare ad un fenomeno osservato la prima volta da Arago nelle lamine di cristallo di rocca, tagliate perpendicolarmente all' asse, che fu più tardi studiato dal Biot, da cui ha ricevuto una estensione importante per la scienza.

Il fenomeno di cui si tratta si può nel seguente modo osservare:

Sul sostegno e dello strumento di sopra descritto (*fig.* 308), si pone una lamina di cristallo di rocca perpendicolare all' asse, avente una grossezza compresa tra 1 e 20 o 30 millimetri, e col prisma a doppia rifrazione si osserva il raggio polarizzato che l' attraversa: si vedranno allora due immagini vivamente colorate di colori complementari (*fig.* 324). Indi facendo girare il prisma, i colori si mutano, e procedono verso l'uno o l'altro estremo dello spettro, continuando sempre ad essere complementari: se la lamina per esempio da il verde, quando la sezione principale del prisma è nel piano primitivo di polarizzazione, la si vedrà passare dal verde al turchino; all'indaco ec., facendo rotare il prisma verso la destra (*fig.* 334); nell'atto che per un' altra lamina verde sarà mestieri all' opposto girare il prisma verso la sinistra, per ottenere gli stessi risultamenti.

Se invece di operare con la luce bianca si operi con la luce omogenea, si vedrà mercè un prisma analizzatore o una turmalina, che il raggio, dopo aver attraversata la lamina, è tuttavia polarizzato; ma il suo piano di polarizzazione è stato rimosso, e si è volto per un certo numero di gradi verso la destra o verso la sinistra. Laonde, sotto l' incidenza perpendicolare, il cristallo di rocca perpendicolare all' asse ha la proprietà di far rotare il piano di polarizzazione: alcuni pezzi lo fan muovere a destra ed altri a sinistra.

Questa stessa proprietà si manifesta anche nella luce solare bianca ed omogenea; per renderlo aperto basterà porre le lamine avanti la prima lente nello strumento di sopra descritto (*fig.* 312).

Il Biot studiando questi fenomeni vi ha scoperto le seguenti leggi:

1° Per tutte le lamine ricavate dallo stesso cristallo, la rotazione del piano di polarizzazione è proporzionale alla grossezza;

2° Tanto se un cristallo si giri a destra,

quanto se si giri a sinistra, la stessa grossezza dà presso a poco la stessa rotazione;

3° Ne' varj colori la rotazione cresce con la rifrangibilità; per una lamina di un millimetro gli angoli di rotazione sono i seguenti:

Rosso estremo	17° 30'
Limite dell'aranciato	20 29
—— del giallo	22 19
—— del verde	25 40
—— del turchino	30 3
—— dell'indaco	34 34
—— del violetto	37 52
Violetto estremo	44 5'

Per la qual cosa quando il fascio si guarda ad occhio nudo pare bianco; ma tosto che si guardi con qualunque analizzatore, i piani di polarizzazione dei varj raggi semplici essendo assai diversi, egli è mestieri che si partiscano inegualmente tra le due immagini, e che queste immagini presentino in conseguenza de' vivi colori e perfettamente complementari (*fig.* 334).

Herschell ha osservato che nel quarzo appartenente alla varietà detta *plagiedra*, il verso dell'inclinazione delle facce determina quello della rotazione.

Il Brewster ha osservato anche che in certi pezzi di amatista vi son de' luoghi che fan girare a destra ed altri che fan girare a sinistra, il che rende i colori singolarmente intrigati.

Prima di procedere più innanzi è mestieri adoperarci a dare un' idea della cagione che Fresnel assegna a cotesti fenomeni.

Fresnel suppone che le vibrazioni luminose si eseguano nello stesso verso della superficie delle onde perpendicolarmente alla direzione de' raggi, e che un fascio polarizzato sia quello per lo quale coteste vibrazioni hanno sempre la stessa direzione, il suo piano di polarizzazione essendo quel piano, cui questi piccoli moti oscillatorj delle molecole eteree restano sempre perpendicolari: or da questo segue, che se due sistemi d' onde di eguale intensione e polarizzati ad angolo retto, cioè i cui moti oscillatori sieno scambievolmente perpendicolari, differiscono nel loro cammino per un quarto di ondulazione, il moto composto che ad ogni molecola imprimeranno, invece di essere rettilineo, come in ciascuno de' fasci, sarà circolare ed uniforme; le molecole gireranno da destra a sinistra, quando il sistema d'onde, che ha la precedenza, tiene il suo piano di polarizzazione a destra di quello del sistema d'onde, che trovasi in ritardo per un quarto di ondulazione, e gireranno da sinistra a destra quando il primo piano sarà a sinistra del secondo, ovvero quando, i piani di polarizzazione restando disposti come nel primo caso, la differenza di cammino sarà eguale a tre quarti di ondulazione. Se la differenza in vece di essere di un numero pari o dispari di quarte parti di ondulazioni fosse un numero frazionario, i moti vibratori non sarebbero nè rettilinei nè circolari, ma ellittici.

In questa generale rotazione delle molecole intorno alle loro giaciture di equilibrio, s' intende che esse non occupano nello stesso momento gli stessi punti delle circonferenze che descrivono, atteso il moto progressivo delle onde. Per rappresentarsi alla mente le loro rispettive giaciture, bisogna immaginare che quelle che nello stato di equilibrio erano sopra una linea retta parallela al raggio, si trovino ora poste sopra un' elica molto stretta descritta intorno a questa linea retta come a proprio asse, ed il cui passo è eguale alla lunghezza di un' ondulazione. Se ora quest' elica si faccia rotare intorno al proprio asse con moto uniforme, in modo che compia un' intera rivoluzione nello stesso tempo in cui si compie una ondulazione luminosa, e si consideri di più che, in ciascuna falda infinitamente sottile perpendicolare al raggio, tutte le molecole eseguano gli stessi moti e conservino le stesse rispettive situazioni, si avrà una giusta idea del genere di vibrazioni che costituiscono la polarizzazione circolare.

Ma risulta anche dalla teoria meccanica delle interferenze, che ad un sistema di onde polarizzate in linea retta possonsi sostituire due altri sistemi polarizzati ad angolo retto e coincidenti ne' loro cammini. Inoltre a ciascuno di questi si possono sostituire due altri sistemi polarizzati nello stesso piano, uno dei quali abbia una precedenza e l'altro un ritardo di un ottavo di ondulazione, e però tra loro separati per un quarto di ondulazione; il che dà quattro sistemi di onde di eguale intensione, due de' quali polarizzati ad angolo retto sono in ritardo di un quarto di ondulazione per rispetto agli altri due polarizzati anche ad angolo retto. Ora se prendansi cotesti sistemi *in croce*, cioè ciascuno di quelli che sono in ritardo, con quello che precede, e polarizzato ad angolo retto con esso, s'intende che si avranno precisamente due fasci eguali tra loro in accordo, e polarizzati circolarmente l'uno da destra a sinistra e l'altro da sinistra a destra.

In ultimo risultamento dunque ad ogni fascio d' intensione eguale ad 1, e polarizzato in linea retta, si posson sempre sostituire due fasci polarizzati circolarmente, in accordo tra

loro, ciascuno avente per intensione $\frac{1}{2}$, e girante l'uno da sinistra a destra e l'altro da destra a sinistra. E per contro un sistema di due fasci polarizzati circolarmente riproduce sempre un fascio polarizzato in linea retta in un piano unico, ma con questa condizione indicata dalla teoria, che se i due fasci polarizzati circolarmente acquistan per via qualche differenza di cammino, il piano di polarizzazione del fascio polarizzato in linea retta, che può ad esso sostituirsi, avrà girato da destra a sinistra o da sinistra a destra d'un angolo proporzionale alla differenza di cammino. La rotazione accadrà da destra a sinistra o da sinistra a destra, secondochè il fascio polarizzato circolarmente da sinistra a destra avrà guadagnato precedenza o ritardo.

Premesse queste nozioni, è chiaro che se in natura si trovasse qualche corpo che avesse la singolare proprietà di trasmettere, con diverse velocità, i fasci polarizzati circolarmente da destra a sinistra o polarizzati da sinistra a destra, ogni fascio polarizzato in linea retta dovrebbe, attraversando questo corpo, ricevere un moto di rotazione nel suo piano di polarizzazione: questo moto si eseguirebbe per un verso o per l'altro, secondo che l'uno dei sistemi si troverebbe in precedenza o in ritardo: esso sarebbe proporzionale alla grossezza del corpo attraversato, e dipenderebbe finalmente, secondo certe leggi, dalla lunghezza delle ondulazioni della luce.

Tale è la spiegazione che il Fresnel dà dei fenomeni che presenta il cristallo di rocca perpendicolare all'asse. Per venire a capo di tale spiegazione fa d'uopo, siccome intendesi, persuadersi bene che ad un fascio polarizzato in linea retta se ne possono sostituir due, polarizzati circolarmente per versi contrarj, e supporre che uno di questi sistemi vada più veloce dell'altro, quando entrambi attraversano certi corpi.

Questo secondo punto potea sembrare del tutto ipotetico, e però Fresnel si è data tutta la premura a dimostrarlo in un modo diretto, e vi è pervenuto con una decisiva esperienza, della quale ci faremo a discorrere.

Doppia rifrazione del cristallo di rocca secondo la direzione del suo asse. — Il cilindro *abcd* (*fig.* 317) è composto di tre prismi di cristallo di rocca lavorati separatamente, ed indi con molta diligenza congiunti. Quello di mezzo *asb* ha il suo angolo al vertice *s* di 152°; esso è ricavato da un pezzo di quarzo, che fa per esempio girare il piano da destra a sinistra, e le sue due facce laterali *as* ed *sb* sono egualmente inclinate all'asse. I due prismi estremi *das* e *cbs* son ricavati da un pezzo di quarzo, che fa girare il piano per verso contrario, cioè da sinistra a destra; essi hanno le loro facce *ad* e *cb* perfettamente perpendicolari all'asse, e le loro facce *as* e *bs* convenientemente inclinate, affinchè gli assi ottici dei tre prismi si trovino nella stessa direzione. Se ora si faccia passare in questa direzione un raggio polarizzato, si vedrà che si divide in due, dando, dopo la sua emergenza, due raggi divergenti. Il cristallo di rocca adunque esercita una doppia rifrazione secondo il suo asse, e questa doppia rifrazione non somiglia per nulla quella ordinaria che accade nel quarzo e negli altri cristalli, imperciocchè nessuno dei due fasci emergenti conserva alcun segno di polarizzazione; almeno ciascuno di essi dà due immagini bianche ed egualmente intense, quando si osserva col prisma a doppia rifrazione.

Cotesto notevole fenomeno direttamente dimostra, che i fasci polarizzati circolarmente e per versi contrarj non si propagan punto con la stessa velocità seguendo l'asse del cristallo di rocca, e che quello che va più veloce nei due prismi estremi va più lento in quello di mezzo. E per fermo, consideriamo il fascio polarizzato che si presenta in *ad*, come composto di due fasci polarizzati circolarmente per versi contrarj ed in accordo tra loro. Se essi prendon diverse velocità, attraversando il prisma *ads*, riceveranno diverse rifrazioni al passaggio di *ads* in *asb*, e tanto più diverse in quanto che debbon qui scambiarsi in modo, che il più lento diventi il più rapido, ed al contrario. Eccoli dunque divisi in tutto il tragitto di *asb*, ed al passaggio da questo prisma nell'ultimo *csb* essi si divideranno ancora di più, imperciocchè il più rapido diventerà il più lento ed al contrario. I due fasci emergenti non sono dunque altra cosa, che i due fasci polarizzati circolarmente per verso contrario, i quali compongono il fascio incidente, e che sono stati separati dall'ineguale velocità negli opposti prismi di quarzo.

Troveremo di questo una novella pruova in un'altra esperienza dovuta similmente all'instancabile sagacia di Fresnel.

Polarizzazione e spolarizzazione generate da successive riflessioni totali. — *abcd* (*fig.* 318) è un parallelepipedo di vetro i cui angoli acuti sono di 54° circa, e però gli ottusi di 126°. Un fascio polarizzato entrando perpendicolarmente per la faccia *cb*, soffre due riflessioni totali in *p* ed in *s* sotto l'angolo di 54° circa, e va ad uscire perpendicolarmente per la faccia

ad. Se il piano di polarizzazione di questo fascio faccia un angolo di 45° col piano della doppia riflessione, si trova che dopo l'emergenza il cui raggio apparisce completamente *spolarizzato*, analizzato cioè col prisma a doppia rifrazione, dà per ogni verso due immagini bianche ed ugualmente intense. Questa perdita di polarizzazione intanto è solo apparente; questo fascio non è veramente un fascio naturale, e ne differisce per due essenziali qualità:

1° Prende la sua polarizzazione in un piano unico, quando si assoggetta a nuove riflessioni totali sotto lo stesso angolo, in un secondo parallelipedo simile al primo, sia qualunque la direzione del secondo piano di riflessione per rispetto al primo. Se i due piani coincidono, il nuovo piano di polarizzazione coinciderà col primo.

2° Attraversando delle lamine cristallizzate, esso mostra tinte diverse, aventi altre qualità e soggette ad altre leggi, diverse da quelle che appartengono alla luce naturale.

Il fascio finalmente di cui si tratta è polarizzato circolarmente; esso è identico ad uno de' fasci che abbiamo ottenuti nell' esperienza antecedente col triplice prisma di quarzo. Per rendere aperta questa medesimezza, basterà sottomettere alla doppia riflessione nel parallelipedo di vetro i due fasci emergenti dal triplice prisma. Ciascuno di essi darà allora un fascio polarizzato; ma per uno il piano di polarizzazione fa 45° a destra del piano di riflessione, e per l'altro 45° a sinistra: il che apertamente dimostra che si sono polarizzati circolarmente e per versi contrarj.

466. *Polarizzazione circolare de' raggi obbliqui.* — Finora abbiam solo considerato i raggi che attraversano il cristallo secondo l'asse; ma quando l'esperienza disponsi in guisa, da poter ricevere nello stesso tempo i raggi perpendicolari e gli obbliqui, procedendo perfettamente come nell' osservazione degli anelli che presentano i cristalli ad uno o a due assi, si vedono anche nel cristallo di rocca, tanto con la luce delle nubi quanto con la luce solare, de' vaghi sistemi di anelli vivissimi e molto spiccati: se non che la croce nera sparisce dal centro, ed in sua vece osservasi il cerchio colorato, che risulta dalla polarizzazione circolare: osservasi eziandio che la croce nera che taglia i primi anelli è anche meno distinta, il che dimostra quivi esservi anche un influsso della polarizzazione circolare, o piuttosto ellittica, siccome da Airy è stato effettivamente dimostrato (*Trans. de Cambridge*, 1832). Restano intanto a farsi importanti osservazioni per giungere teoricamente tutti cotesti fenomeni di colorazione.

Airy ha fatto anche vedere, che sopraponendo due lamine della stessa tinta e della stessa grossezza, una delle quali giri a destra e l'altra a sinistra, gli effetti non sono già interamente distrutti, ma solo parzialmente, dal che derivano delle spire di una forma particolare (*fig.* 335).

Il Noremberg avea perfino osservate coteste spire, ed il suo apparecchio le genera in modo singolare, mercè un sol cristallo posto sullo specchio *m*, quando al di sopra del cristallo ponsi una lente ad una distanza quasi eguale a quella del fuoco. Le spire in questo caso risultano dall' interferenza de' raggi, che hanno attraversato il cristallo una volta, prima di arrivare allo specchio, e da quelli che lo attraversano una seconda volta, dopo la riflessione, i quali perciò si comportano come se il cristallo girasse per verso contrario.

466 *bis*. *Polarizzazione circolare nei liquidi e nei gas.* — Il cristallo di rocca è il solo corpo solido in cui siasi osservata la polarizzazione circolare; ma il Biot ha scoperta questa proprietà in vari fluidi, e facendosi ad investigarla è giunto a risultamenti che meritano tutta l' attenzione de' fisici e de' chimici.

Potremo appena indicare per sommi capi i più importanti di tali risultamenti.

Le sostanze che girano da *destra a sinistra* sono *la terebentina*, *l' essenza di lauro*, *la gomma arabica* e *l' inulina*. Quelle che girano da *sinistra a destra* sono *l' essenza di cedro*, *lo sciroppo di zucchero*, *la soluzione alcoolica di canfora*, *la destrina* e *l' acido tartarico*.

Per osservare la colorazione della luce polarizzata col piano di polarizzazione sopra queste diverse sostanze, basterà di riempirne un tubo più o meno lungo (*fig.* 318 *bis*.) e disporlo sull' apparecchio di Noremberg (*fig.* 308), ed operare come si farebbe col cristallo di rocca; il tubo può avere la lunghezza da uno fino a cinque o sei decimetri. Pei vapori, come quelli di essenza di terebentina, nei quali il Biot ha ravvisate le medesime proprietà dell' essenza stessa, è mestieri adoperare un' altra disposizione, imperciocchè la lunghezza de' tubi deve essere quasi in ragione inversa delle densità dei vapori e del liquido. Il più efficace di cotesti liquidi è trenta o quaranta volte meno efficace del cristallo di rocca. Così per una grossezza di un millimetro, lo sciroppo concentrato, che è il più efficace, non imprime al rosso estremo se non che una rotazione di 30°. Qui, come nel quarzo, la rotazione generalmente cresce con la rifrangibilità, e scema in ragion che cresce il quadrato

della lunghezza delle ondulazioni; questa legge però soffre delle eccezioni, particolarmente per l'acido tartarico sciolto nell'acqua: il quale imprime la maggior rotazione ai raggi verdi e la minore ai raggi violetti, e ritorna sotto la legge generale, tostochè si combina con l'ammoniaca, la glucina o l'acido borico. È mestieri leggere nelle diverse memorie di Biot tutte le proprietà che egli ha conosciute sul proposito, e l'utile che ha saputo ricavarne per lo studio della disposizione degli atomi, tanto nell'atto delle loro combinazioni chimiche, quanto dopo che queste sono avvenute.

467. Il Biot si è compiaciuto permettermi di far disegnare e pubblicare in quest'opera l'apparecchio, pel quale si è definitivamente deciso, dopo di avere, mercè pruove successivi, modificate e perfezionate le diverse disposizioni delle quali avea per lo innanzi fatto uso. Quest'apparecchio, costruito con molta diligenza e precisione da Bianchi, è stato presentato all'Accademia delle Scienze, nell'adunanza del 13 settembre 1817 (ved. *Comptes rendus*, t. XXV, pag. 384); esso è, ad un tempo, acconcio pe' saggi industriali dello zuccaro, e per le ricerche le più dilicate sulla polarizzazione de' liquidi, poichè permette studiarle a temperature assai differenti da quelle dell'ambiente. Dopo il detto innanzi intorno ai fenomeni ed alle condizioni nelle quali avvengono, mi sarà sufficiente dare una descrizione succinta del menzionato strumento, per farne comprendere tutto il vantaggio. Esso è rappresentato nelle figure 16 e 17, tav. 36.

a Appoggio solido di legno, che ha quasi la forma e l'altezza d'uno stretto banco, il quale fosse aperto secondo la sua lunghezza.

b Lastra di ferro fuso, grossa e bene appianata, la quale ha parimente una fenditura di tre centimetri, secondo la sua lunghezza, ma che non giunge agli estremi; questa lastra è fissata sul banco per mezzo di quattro viti.

x Polarizzatore.

o Porta-oggetti, o sostegno del tubo *y* sottomesso all'esperienza.

z Analizzatore.

Il polarizzatore *x* si compone d'un cristallo nero *e*, d'un tubo *dd'*, terminato a ciascuna delle sue estremità da un diaframma circolare, e da una cerniera *e*, che può considerarsi come il centro intorno al quale può aggirarsi tutto l'istrumento, come di corto vedremo. Il cristallo è più o meno s'inclina, e si rende stabile mercè una vite; un piccolo quadrante indica le inclinazioni di cotesto cristallo sull'asse dell'apparecchio, e perciò ancora sul raggio riflesso che si osserva.

L'analizzatore *z* si compone d'un cerchio diviso *f*, la cui alidada *g* sostiene il prisma a doppia rifrazione *h*; una lente *i* fissata sull'alidada serve a far meglio discernere le immagini. Il cerchio ha due movimenti, uno d'inclinazione, mercè la cerniera *k*, che serve a porlo in una situazione perpendicolare al raggio, l'altro d'ascensione con l'aiuto del sostegno *l* che scorre in una maniera di canale cilindrico, e che può fissarsi ad un'altezza voluta, senza poter girare, avendo sulla sua lunghezza un solco che gl'impedisce questo movimento rotatorio. Inoltre due viti perpendicolari *m* ed *n* servono a dare a questo sostegno *l*, e per conseguenza al cerchio eziandio, dei piccoli movimenti di correzione, affine di regolarlo più sicuramente.

Il porta-oggetti si compone d'un canaletto *o* perfettamente applanato, e di due righe a cerniera *p* e *q*, la seconda delle quali lega solidamente il porta-oggetti con l'analizzatore, per mezzo della traversa *r*. Queste righe facilmente fissansi all'altezza che si vuole, e si fermano nel tempo stesso sulla lastra di ferro fuso, essendo che ciascuna di esse passa a traverso d'un sostegno *u*, che scorre lungo la fenditura della lastra *b*, e che è munito di due viti di pressione: l'una di queste viti tien salda la riga sul sostegno; l'altra *w* ferma quest'ultimo sulla lamina di ferro fuso.

Volendo regolare pertanto l'apparecchio, basta render libere le due righe *p* e *q* ed i loro sostegni, e quindi elevare il porta-oggetti all'altezza che conviene all'osservatore; fatto ciò, si fissano le righe ed i loro sostegni; in seguito s'innalza l'analizzatore, affinchè il centro del cerchio si trovi quasi sull'asse del raggio riflesso; quindi s'introduce nel canaletto del porta-oggetti la maniera di compasso *s*, e s'inchina il cerchio finchè non tocchi esattamente i rami di questo compasso, da ultimo, con l'osservazione del raggio riflesso, si corregge questa prima approssimazione, mercè le viti *m* ed *n*.

Fatto ciò non rimane che adattare nel canaletto *o* i tubi *y* pieni di liquido, in luogo del compasso, e così procedere alle osservazioni.

Quando, finalmente, si trattasse di dovere studiare un liquido a differenti temperature, si dispone il tubo contenente il liquido nella stufa *t*, figura 17. Questa stufa è munita d'un agitatore, e di termometri; e la si riscalda mediante un liquido o una corrente di vapore; le sue forme sono tali, che basta togliere il canaletto *o* perchè essa possa adattarsi esat-

tamente sulle righe p e q, in modo che il raggio del tubo passi per l' asse riflesso.

467 *bis*. *Polarizzazione circolare generata dalla riflessione sulle superficie metalliche levigate*.—Il Brewster ha conosciuto, che se con una certa incidenza si faccia cadere sopra due lamine metalliche parallele un raggio polarizzato, in modo che il piano di polarizzazione faccia un angolo di 45° col piano di riflessione, questo raggio sarà polarizzato circolarmente, dopo un numero dispari di riflessioni, e per contro sarà polarizzato nel piano primitivo se il numero delle riflessioni è pari. L'angolo d' incidenza varia ne' diversi metalli, ma è sempre compreso tra 70° e 80°. Jamin, antico alunno della scuola Normale, ha fatto su questa materia un lavoro considerevole, che per mancanza di spazio, e con mio dispiacere, non posso qui esporre in compendio. Questo lavoro è sviluppato in una tesi sostenuta innanzi alla Facoltà delle scienze di Parigi, nel 1847.

§. 2 *Polarizzazione circolare magnetica*.

468. Il Faraday, sul cadere del 1845 fece conoscere un fatto nuovo nella scienza: dimostrò egli che parecchi corpi diafani, solidi o liquidi, sottomessi, in un certo modo, all'azione dei fluidi elettrico e magnetico, acquistano la proprietà d'indurre delle modificazioni nuove nella luce polarizzata, che attraversa quei corpi. Essi divengono, per tal modo, *fotogiri*, ossia divengon capaci di far girare la luce, o, ciò che vale la stessa cosa, di far girare i piani di vibrazione della luce, che si propaga nell'interno di essi. La scoverta del Faraday stabilisce così, per la prima volta, una dipendenza più o meno intima tra due generi di forze, che sino ad ora sembravano del tutto distinte e indipendenti; cioè le forze che producono le onde luminose, e quelle che producono le correnti elettriche o i fenomeni magnetici.

Procurerò di esporre rapidamente le principali esperienze che sono state fatte, a questo riguardo, togliendole dalle memorie del Faraday, dalla nota da me presentata all' Accademia delle Scienze, il 26 gennaro 1846, e da altre pubblicazioni giunte a mia conoscenza.

Un pezzo di flint-glass pesante, fig. 18, tav: 36, terminato da due facce piane e parallele a', b', è posto innanzi ad una potente calamita temporanea, come se dovesse servirle da ancora. Quando si fa passare una corrente energica, quale sarebbe quella che risulta da una pila di Bunsen di 50 copple, il pezzo di flint non soffre alcuno effetto meccanico sensibile; non è nè attratto verso i poli, nè respinto da questi, neppure girato in una direzione particolare; ma quando facciasi su di esso cadere, perpendicolarmente alle sue facce a' e b' un raggio polarizzato, opera su cotesto raggio mentre passa la corrente, in modo diverso da quello che farebbe se la corrente non passasse. In effetti, se ricevasi questo raggio, alla sua emergenza, sopra un prisma di Nicol, o sopra un prisma a doppia rifrazione, disposto in modo da dare una sola immagine, vedesi, nel momento in cui passa la corrente per la calamita, comparire la seconda immagine, durare in questo stato finchè dura la corrente, e scomparire affatto quando la corrente sia cessata. A fine di rendere più sensibile l' esperienza, giova stabilire sul passaggio della corrente un commutatore, mercè il quale si possa rapidamente stabilire o sopprimere la comunicazione. Allora vedesi la seconda immagine comparire con la corrente e scomparire con essa; e le alternative di luce e di tenebre divengono più facili ad osservarsi, quando esse han luogo ad istanti convenientemente ravvicinate.

Il flint adunque riceve dalla calamita temporanea una proprietà nuova, divenendo capace sia di produrre una spolarizzazione parziale, sia di far girare i piani di polarizzazione.

Per esser certo che quest' ultimo effetto sia quello che si produce, basta osservare che, girando alquanto il prisma analizzatore, sia a destra sia a sinistra, v' ha uno di questi due moti pel quale l'immagine prodotta dalla corrente scomparisce, quando si sperimenta con luce omogenea, e tende a scomparire, quando si sperimenta con luce bianca; essendo che in questi casi l' immagine passa gradatamente per diverse tinte, dall' estremità la più rifrangibile alla meno rifrangibile dello spettro. Laonde, sotto l' influsso della calamita, il flint diviene capace d'esercitare un' azione, analoga a quella del quarzo perpendicolare all'asse, di fare, cioè, girare disugualmente i piani di polarizzazione de' diversi colori, e tanto maggiormente farli girare per quanto più rifrangibili sono i colori.

Ma vi è anche di più: il senso della rotazione dipende da quello della corrente; poichè, facendo passare successivamente la corrente nell'un senso o nell'altro, si vedrà che, per ottenere gli stessi effetti di estinzione e di colorazione, bisognerà fare girare la sezione principale del prisma analizzatore in sensi opposti.

Da ultimo, volendo fissare in un modo assoluto il senso del moto dei piani di pola-

rizzazione, rispetto alla direzione della corrente, diremo che *i piani di polarizzazione girano nel senso stesso della corrente*. Di fatto essendo a e b il polo australe ed il polo boreale della calamita temporanea, il flint, considerato come un'ancora, o come un corpo magnetizzato per influsso, avrebbe due poli ed un asse magnetico; il suo polo australe sarebbe in a' ed il boreale in b', ed il suo asse magnetico sarebbe parallelo alla retta $a'b'$. Quindi, per un osservatore che guardasse la faccia b', la corrente del flint girerebbe nel senso d'un indice d'oriuolo, ed è appunto in questo senso stesso che girano i piani di polarizzazione, quando il raggio polarizzato entra per a' ed emerge per b'. Quando invertasi la corrente, mercè il commutatore, e per conseguenza s'invertano ancora i poli della calamita, quelli dell'ancora ovvero del flint saran pur essi cangiati; ma se l'osservatore è rimasto nella medesima posizione di prima, la faccia d'emergenza del flint è allora un polo australe, pel quale la rotazione della corrente è in senso inverso dell'indice dell'oriuolo, e si esegue, per conseguenza, da *dritta a sinistra*; ma in questo senso, opposto al primo, girano anch'essi, questa volta i piani di polarizzazione.

Basta dunque considerare il flint, e in generale il corpo diafano sottomesso all'azione della calamita temporanea, come un corpo magnetizzato per influsso, e vedere, in questa ipotesi, ove giacciono i suoi poli ed il suo asse magnetico. Fatto ciò si saprà in qual senso cammina la corrente, che lo costituisce allo stato magnetico, e se sarà questo, sempre, il senso del moto dei piani di polarizzazione.

Questa proposizione capitale ci mena a parecchie conseguenze importanti, le quali tutte sono state verificate con l'esperienza.

1° Tra i corpi che esercitano la polarizzazione circolare atomistica, e quelli che esercitano la polarizzazione circolare magnetica v'ha questa differenza essenziale, cioè, che ne' primi il senso della rotazione è sempre lo stesso, sia qualunque quello della luce che li attraversa, ed è perciò permesso il dire che talune di coteste sostanze girano a dritta, e tali altre a sinistra; mentre poi per i secondi il senso della rotazione cangia con quello della direzione della luce: così, se (fig.18), restando lo stesso il senso della corrente, la luce entra per a' e l'osservatore si trovi in b', la rotazione è da sinistra a dritta, come quella dell'indice d'un oriuolo; e se, all'opposto, la luce entra per b', e l'osservatore sia in a' la rotazione avrà luogo da dritta a sinistra. Per conseguenza, quando la luce viene a cambiare istantaneamente direzione, i piani di polarizzazione non vengono perciò a ripassare per le stesse fasi; ma potrebbe dirsi che essi muovonsi come un battello che attraversa un fiume, e deriva per l'influsso della corrente; se esso passa e ripassa più volte, deriva sempreppiù, polchè ciascun ritorno aggiunge il suo effetto a quello del tragetto precedente. Dopo ciò, si potrebbe, in qualche modo, render ragione dei moti dei piani di polarizzazione, col supporre che la calamita temporanea determini, nell'etere del corpo diafano, un moto di rotazione, la cui velocità non è insensibile rispetto a quella della luce, e che si effettua nel senso stesso che si è ipoteticamente ammesso, per esser quello delle correnti elettriche costituenti la calamita.

Si può mettere a profitto questa proprietà del moto progressivo del piano di polarizzazione, durante l'andata ed il ritorno del raggio luminoso per accrescere gli effetti osservati; poichè se per esempio, si dispongano delle superficie riflettenti in a' e b', affinchè il raggio non esca se non dopo aver fatto tre o cinque volte il tragetto tra le superficie, gli effetti saran triplicati o quintiplicati: ciò è stato col fatto realizzato da Faraday.

2°. Se il raggio polarizzato attraversa il flint perpendicolarmente al suo asse magnetico $a'b'$, l'effetto dev'esser nullo, non essendovi più ragione perchè il piano di polarizzazione debba girare da dritta a sinistra, anzi che da sinistra a dritta. Ciò è stato dall'esperienza confermato. Sin'ora non si è, in questa direzione, manifestata alcuna azione sensibile.

3°. Se il pezzo di flint ha una lunghezza maggiore della distanza de' poli della calamita, prolungandosi a dritta di b' ed a sinistra di a', allora si formeranno de' poli contrari in b'' ed a'', in guisa che diventa, in qualche modo, una calamita a punti conseguenti, e gli effetti delle porzioni $b''a'$, $b'a''$ sono opposti a quelli della parte $a'b'$. Ciò si verifica tanto se prendasi un pezzo di flint abbastanza lungo, siccome ora abbiamo indicato, quanto se il pezzo primitivo $a'b'$ si faccia passare successivamente ad occupare le posizioni $a'b''$, $b'a''$. (*Competes rendus*, gennaro 1846).

Coteste esperienze, invece di farle con una calamita a ferro di cavallo, come abbiamo fin'ora supposto, possonsi fare ancora adoperando rocchetti elettro-magnetici, i cui ferri son forati per tutta la loro lunghezza per un'apertura di 7 in 8 millimetri, affinchè possa

liberamente passare il raggio luminoso. La figura 21 rappresenta l'apparecchio costruito da Ruhmkorff, secondo questa idea, e col quale si consegue perfettamente lo scopo. I due rocchetti sono x ed y, ed a e b sono i poli opposti dei pezzi di ferro calamitati dalla corrente, e finalmente d è il pezzo di flint, o, più generalmente, il corpo diafano sottomesso all'esperienza. Una lampada di Locatelli invia la luce sul prisma di Nicol o polarizzatore p. Il fascio polarizzato propagandosi secondo l'asse de' rocchetti, attraversa il corpo d, e giugne a l'analizzatore n, che è un prisma di Nicol adattato sull'alidada d'un cerchio diviso, come nell'apparecchio del Biot (*fig.* 16).

Nelle mie sperienze, mi era servito d'un apparecchio ottico alquanto più complicato, il quale, in questa specie di ricerche, può offrire qualche vantaggio: esso è l'apparecchio a polarizzazione circolare di Soleil. Poche parole saranno sufficienti a farne intendere la disposizione. Il Soleil ha avuto l'ingegnosa idea di far cadere sul polarizzatore una luce già colorata; e per far questo pone, innanzi al polarizzatore, un prisma di Nicol, dietro del quale trovasi, quasi fosse al prisma attaccato, un quarzo perpendicolare all'asse, che dà vivi colori; girando questo sistema si giunge a far cadere sul polarizzatore quell'accordo di colori, che all'esperienza conviene. Dopo il polarizzatore si trova un secondo quarzo perpendicolare all'asse, ma composto di due pezzi soprapposti uno de' quali ha la rotazione a destra, e l'altro la ha a sinistra; se, all'emergere da questa lamina, il raggio luminoso non provasse alcun cangiamento, si potrebbe sempre situar l'analizzatore in una posizione tale, che le due metà di ciascuna immagine fossero identiche: questa è la posizione *zero* dell'analizzatore. Ma se i piani di polarizzazione son modificati nel passaggio, l'analizzatore mostra colori differenti nelle due metà di ciascuna immagine. Posto ciò, per trovare, *per compensazione*, di quanto i piani sieno stati deviati, s'interpone innanzi all'analizzatore una lamina di quarzo perpendicolare all'asse, e d'una grossezza di 5 millimetri, che abbia la rotazione a dritta, per esempio, e dietro ad essa un sistema di due lamine, avente una rotazione a sinistra; queste ultime son tagliate in prismi, acromatizzate col vetro, e che possono scorrere l'una sull'altra, in guisa da dare una grossezza variabile, secondo che questi prismi o cunei si soprappongano con le loro punte, o con le loro teste. Questo sistema appunto è il compensatore di Soleil. I prismi posti nel mezzo del cammino che percorrono scorrendo l'un sull'altro, compensano appunto la lamina che li precede. Quindi, se, pria d'arrivare a questa lamina, abbia il raggio sperimentato un effetto che devii il suo piano di polarizzazione a dritta, per esempio, come la lamina, questo effetto, s'accresce, ed il sistema de' due prismi deve aumentare di grossezza, perchè la compensazione abbia luogo. Al contrario, se il raggio abbia sperimentato un effetto opposto a quello della lamina, la grossezza del sistema de' due prismi deve diminuire. Gli effetti adunque vengon misurati dallo scorrimento de' prismi, in vece di misurarsi mercè il movimento angolare della sezione principale dell'analizzatore, come nell'apparecchio di Biot. Ma le distanze lineari percorse dai prismi, a partire da zero, si trasformano facilmente in distanze angolari percorse dall'alidada, e reciprocamente.

Invece di due soli rocchetti, avevo similmente impiegato un sistema di parecchi rocchetti posti l'un dopo l'altro, come lo indica la fig. 19; il ferro di ciascuno di essi aveva un foro cilindrico secondo il suo asse, come viene indicato dalla fig. 21; allora per impedire che la forza attrattiva schiacciasse le sostanze poste tra due rocchetti consecutivi, convien tenerli ad una certa distanza l'un dall'altro, per mezzo di pezzi di legno messi in piede.

469. L'intensione dell'effetto prodotto da una sostanza data, ad evidenza, dipende dalla lunghezza del cammino percorso dalla luce in questa sostanza; ma dipende ancora dall'energia dell'azione magnetica sulle diverse falde per attraverso delle quali passa il raggio. La legge delle intensioni, rispetto alle dimensioni dei corpi, è dunque una legge soverchiamente complicata, perchè se ne possa trovare, sin da ora, l'espressione. V'ha pertanto una questione capitale, che a quella legge si riferisce, e che era necessario risolvere; essa consiste nel sapere se l'azione esercitata sovra un punto dato da una calamita temporanea, sia funzione soltanto delle distanze, o se essa dipende, ad un tempo, dalla distanza e dalle materie più o meno atte all'impressione, e che possono essere poste tra il punto dato e la superficie della calamita. Questa questione è stata risoluta in un eccellente lavoro, presentato come subbietto di tesi alla Facoltà delle Scienze di Parigi, nel mese d'agosto 1847, da Bertin, antico allievo della Scuola normale. Dalle sperienze di costui risulta, che l'azione della

calamita temporanea è funzione soltanto della distanza, il che vuol dire che ciascuna falda d'un corpo è impressionata, come se le altre falde non esistessero. Stabilito bene un cotal fatto, diverrà facile, senza dubbio, la determinazione della legge secondo la quale l'azione diminuisce sulle diverse falde, a misura che essa si allontana dai poli, e quindi ancora la somma delle azioni corrispondenti ad una data lunghezza del corpo, sia che esso riceva l'influsso d'un sol polo, o quello simultaneo de' due poli contrarii ed opposti. L'ignoranza di questa legge non permette, sino ad ora, paragonare le intensioni relative delle diverse sostanze, se non supponendole delle medesime dimensioni, ed esponendolo allo stesso modo all'influsso della calamita temporanea; e per potere affermare che le ragioni d'intensione trovate in queste condizioni particolari, restino anche le stesse, facendo variare le dimensioni e le forze magnetiche, sarebbe d'uopo che la legge della distanza, qui innanzi indicata, non dipendesse essa stessa se non dalla forza magnetica, e da un coefficiente costante per ciascun corpo, e variabile da un corpo ad un altro. Le ricerche tentate sotto questa veduta, e che io mi sappia, non permettono risolvere completamente una tal questione. Intanto da talune delle sperienze di Bertin sembra risultarne, che la ragione d'intensione del flint Faraduy, e del solfuro di carbone, rimanga la stessa, facendo variare l'energia della calamita temporanea tra limiti molto estesi. Aspettando intanto che ricerche più dirette e svariate abbian deciso cotesta questione in modo generale, giova per ora considerare le intensioni relative ottenute, come de' valori particolari, e non come de' valori specifici proprii a caratterizzare le sostanze alle quali esse intensioni si riferiscono.

Il Bertin ha confermato benanche che un cilindro di flint attivissimo non dia maggiore effetto, quando si trovasse del tutto nascosto nel tubo centrale del rocchetto, sì come lo rappresenta la fig. 21.

Tra le sostanze solide le più attive sembrano esservi i silicati di piombo di Matthiessen e i barosilicati di piombo di Faraday (flint Faraday) vengon quindi i flint delle nostre fabbriche, poi il sal gemma, ed i vetri ordinarii, o i vetri senza piombo. Matthiessen ha fatto, a questo proposito, un lavoro estremamente curioso per la varietà de' composti trasparenti, che è giunto a formare in silicati, borati, alluminati di quasi tutte le basi (*Comptes rendus de l'Accadémie des Sciences*, 21 maggio e 5 luglio 1847).

Tra le sostanze liquide, il bicloruro di stagno ed il solfuro di carbone, osservati dal Bertin, ed ai quali egli assegna un potere maggiore per tre volte quello dell'acqua, l'olio d'olive, l'alcool, e la stessa acqua sembrano essere le più attive. Tutte le soluzioni acquose ed alcoliche sembrano più o meno efficaci; essendo che la maggior parte delle sostanze sciolte aumenta alquanto l'effetto del dissolvente; ve ne sono pertanto talune che invece lo diminuiscono.

Pare, sino ad ora, che i gas ed i vapori non esercitassero alcuna sensibile azione.

CAPO V.

NOZIONI TEORICHE.

Nulla, in modo diretto, sappiamo sulla conformazione dell'etere; ma dalle diverse sperienze essendo stati condotti ad ammetterne l'esistenza, e considerar la luce sì come un moto che si eccita in questo fluido imponderabile e vi si trasmette di mano in mano, lo scopo della scienza quello dev'essere di cercare quale sia l'insieme delle proprietà, sieno essenziali, sieno accidentali, che debbonsi a quell'etere attribuire, per poter dare ragione di tutt'i fenomeni che lo studio della luce ci presenta. Se tra queste proprietà alcuna se ne trovasse incompatibile o contraddittoria, dovrebbesi conchiudere che l'ipotesi, a prima vista seducente, del sistema delle ondulazioni, sia essa stessa contraria alla ragione, e incompatibile coi fatti; ma se, al contrario, le proprietà di che bisogna supporre dotata la ipotetica sostanza dell'etere, affine di spiegare la maggior parte de' fenomeni, sien di natura tale da potersi conciliare tra loro, e con gl'incontrastabili principî di meccanica, converrà allora ammettere, riposare il sistema delle ondulazioni su basi solide, esser conforme alla realità de' fatti, e la scienza, continuando i suoi sforzi, sia per via di ricerche sperimentali, sia per deduzioni matematiche, dover giungere alle leggi semplici e fondamentali che strettamente rannodano tutti i fatti relativi alla luce.

Nel tempo stesso, le proprietà costituenti dell'etere, trovandosi con ciò messe in evidenza e chiaramente dimostrate, egli è, almeno, presumibile che si dovrà giungere alla scoverta di taluni altri moti che questo stesso fluido possa ricevere, i quali, per essere d'una natura differente da quella de' moti che si generano per la produzione o la trasmissione della luce, non sono, senza dubbio, estranei ai fe-

nomeni chimici e fisici che la materia ponderabile ci offre.

I moti e le proprietà dell'etere, danno, pertanto, origine ad un vasto problema di meccanica, il quale per la sua importanza, non la cede nè al gran problema della meccanica celeste, nè ad alcuno de' già risoluti intorno a quelli altri fluidi calore, magnetismo ed elettricità, che anche imponderabili s' appellano. È impossibile che negli elementi di fisica si possa discutere un tal subbietto, ed indicare i lavori, già in gran numero, che sono stati a tal fine eseguiti; ma sembra giunto il momento d'introdurre negli elementi talune nozioni semplici, per far intendere, almeno, in modo chiaro e preciso, il carattere meccanico delle vibrazioni dell'etere, quello de' loro periodi, e quello di lor composizione o di loro influenza scambievole, ne' casi i meno complicati. Avrei potuto presentare coteste nozioni successivamente in quei capitoli a' quali si riferiscono: ma ho pensato che lo studio ne sarebbe più facile se, insieme unite, potessero conservare il legame logico che le rannoda. Ho procurato, perciò, ridurle a talune proposizioni fondamentali che passo successivamente ad esporre.

Proposizione I. Le velocità d'un moto di vibrazione moleculare isocrono, son rappresentate da un' espressione della forma

$$(1)\qquad v=m\ \text{sen}\,2\pi t,$$

ove m dinota la velocità massima, o ciò che indicheremo col nome di *coefficiente di velocità*; essa è una lunghezza riferita ad un' unità arbitraria; t è il tempo, contato a partire dall' origine del moto, e la cui unità è la durata d'una vibrazione intera, ovvero il tempo impiegato per una gita ed un ritorno d'una molecola vibrante.

Una molecola o una massa infinitamente piccola, ponderabile o imponderabile, allontanata che sia dalla sua posizione d'equilibrio, tende a riprendere questa posizione primitiva, in virtù della risultante delle forze costituenti il mezzo che le circonda. Dinotiamo con x la distanza alla quale, ad un istante dato, si trova questa molecola dalla sua posizione d'equilibrio, e con v la sua velocità nell'istante medesimo; ammettiamo dippiù che la forza incognita che riconduce la molecola alla sua posizione primitiva sia proporzionale alla distanza x, ed espressa per conseguenza da ax, ove a dinota un coefficiente costante, e propriamente il valore di quella forza per la distanza 1. Posto ciò le equazioni del movimento saranno

$$(2)\qquad \frac{dv}{dt}=ax,\quad v=-\frac{dx}{dt},$$

donde si trae, eliminando dt,

$$vdv=-axdx$$

e quindi integrando verrà

$$v^2=-ax^2+c,\ \text{donde}\ x=\sqrt{\frac{c-v^2}{a}},$$

essendo c la costante arbitraria introdotta dall' integrazione. Or ponendo questo valore di x nella prima delle (2) si avrà

$$dt=\frac{dv}{\sqrt{a(c-v^2)}},$$

ed integrando si otterrà

$$t=\frac{1}{\sqrt{a}}\ \text{arc}\left(\text{sen}=\frac{v}{\sqrt{c}}\right),$$

senza aggiungervi nuova costante, poichè quando $t=0$, supponiamo essere ancora $v=0$, il che indica che l'origine del tempo è posta all'origine del moto. Risolvendo pertanto quest'equazione rispetto a v, otterremo finalmente

$$(3)\qquad v=\sqrt{c}.\ \text{sen}\ t\sqrt{a};$$

donde si vede che la velocità è periodica. Questa velocità è nulla al principio del moto, per essere $v=0$, quando $t=0$; indi va crescendo col tempo t; e quando giunge ad essere questo tempo $t=\frac{\pi}{2\sqrt{a}}$, allora la (3) dà $v=\sqrt{c}$, che è il massimo valore della velocità; poichè sen $t\sqrt{a}$ non può superare l'unità. Continuando a crescere t, la velocità decresce, e giugne ad esser nulla quando $t=\frac{\pi}{\sqrt{a}}$; e crescendo ancor più il tempo t, la velocità diviene negativa, e perciò il moto si esegue in senso contrario; in questa nuova direzione assume novellamente la velocità il valor massimo $\sqrt{c}$, quando $t=\frac{3\pi}{4\sqrt{a}}$; finalmente questa velocità negativa va descrendo, come la positiva, e torna ad esser nulla quando $t=\frac{2\pi}{\sqrt{a}}$.

Laonde, l'ipotesi d'una forza proporzionale all'allontanamento della molecola, conduce ad un moto di vibrazione o d'oscillazione per questa molecola, affatto analogo a quel-

lo della molecola ponderabile che fa parte d'un'onda sonora.

Coteste vibrazioni sono isocrone; e prendendo per unità di tempo la durata d'una vibrazione intera, la costante a, che è relativa all'intensità della forza, scomparisce, e la velocità prende la forma generica

(1) $$v = m \text{ sen } 2\pi t.$$

In tal caso la costante m, che indica una lunghezza, rappresenta propriamente non l'allontanamento della molecola, ma la velocità massima che essa acquista, quand'essa torna a passare per la sua primitiva posizione d'equilibrio. E per fermo, in virtù dell'isocronismo, s'intende, come, restando la stessa la durata d'una vibrazione, la velocità massima del mezzo dell'escursione possa passare per tutti i gradi di grandezza, da un valore presso che nullo, sino ad un valore quasi infinito.

Il complesso de' valori che acquista la velocità di vibrazione può esser geometricamente rappresentato in diverse maniere; descrivendo, per esempio, un cerchio di raggio m, la serie delle perpendicolari ad un qualunque diametro, rappresenterà appunto la serie de' valori di v, come lo indica la (1); ma cotesta rappresentazione avrà l'incovenlente di essere indipendente dall'ampiezza delle vibrazioni. Ma se, invece, si menino due rette aa' ed mm (*fig.* 3, *tav.* 36) ad angolo retto, le quali si taglino scambievolmente in parti eguali, e suppongasi rappresentar la prima l'ampiezza d'una vibrazione, e la seconda il doppio del cofficiente m; se inoltre con queste due rette come assi si descriva l'ellisse $ama'm'$, è facile vedere che la molecola vibrante, sia che vada da a ad a', o che ritorni da a' ad a, avrà per ciascuna delle sue posizioni s, una velocità rappresentata dalla corrispondente perpendicolare sp nel primo caso, ed sp' nel secondo.

Dinotando con p la semiampiezza di vibrazione, i semiassi di quella ellisse saranno m e p, laonde la sua equazione avrà la forma

$$p^2y^2 + m^2x^2 = m^2p^2 ;$$

e quindi, ad un istante qualunque del moto, la distanza $op = x$ della molecola dalla sua posizione primitiva o, sarà

$$x = \frac{p}{m} \sqrt{m^2 - y^2},$$

e poichè in virtù della (1) $y = m$ sen $2\pi t$, sarà

(4) $$x = p \cos 2\pi t .$$

Proposizione II. Una vibrazione primitiva, comunicandosi all'etere, dà origine a vibrazioni longitudinali e trasversali, e si ammette esser queste seconde quelle che generano la luce; allora ad una distanza z dallo scuotimento primitvo, e sufficientemente grande, perchè l'onda sia piana, nell'estensione del fascio di luce che si considera, tutte le molecole d'etere situate sulla sezione perpendicolare all'asse del fascio, vibrano insieme con un moto comune e parallelo, senza uscire dal piano di questa sezione, e la loro velocità di vibrazione è espressa da $v = a$ sen $2\pi(t-z)$.

L'unità di tempo è sempre la durata della vibrazione primitiva che si conserva la stessa a qualunque distanza. La distanza z è espressa prendendo per unità la lunghezza dell'ondulazione, che caratterizza la specie di luce, e che rimane sempre la stessa nello stesso mezzo. Il coefficiente a rappresenta una lunghezza, la cui unità è arbitraria; e quest'unità dev'essere la stessa per tutte le velocità che vogliansi paragonare tra loro. Finalmente a^2, ossia il quadrato del coefficiente di velocità, rappresenta l'intensione della luce.

Supponiamo, di fatto, che il primitivo moto di vibrazione, in discorso, si esegua in un mezzo in cui l'etere sia omogeneo, ed abbia da per tutto la medesima densità, e la medesima elasticità; così è evidente che un tal moto si trasmetterà di falda in falda in tutte le direzioni. Noi per altro considereremo qui la sola trasmissione che ha luogo perpendicolarmonte alla retta di vibrazione aa' (*fig.* 4); allora sì nello stesso piano della figura, come in qualunque altro piano che passasse per aa', le molecole progressivamente scosse, passeranno successivamente a dritta e a sinistra della perpendicolare ol; talmente che ad un istante dato, per esempio, dopo 10000 vibrazioni intiere della molecola che oscilla tra i limiti a ed a', vi saranno 10000 ondulazioni che si seguono l'una dopo l'altra sulla retta ol. Coteste ondulazioni avranno lunghezze eguali, e quella di ciascuna sarà eguale alla distanza alla quale si è propagato il moto sulla retta ol, durante una intera vibrazione. Egli è evidente che talvolta la lunghezza d'ondulazione dev'essere molto maggiore dell'ampiezza di vibrazione; poichè essa si conserva la stessa per tutte le ampiezze grandi o piccole che sieno; ma non può dirsi in modo assoluto che l'ampiezza non prenda mai una estensione paragonabile alla lunghezza d'ondulazione.

Sia z la distanza d'una molecola m di ol

dal centro di vibrazione, riferita alla lunghezza d'ondulazione presa per unità; la velocità di vibrazione v di questa molecola può essere rappresentata dalla formola

(5) $$v = a\ \text{sen}2\pi(t-z),$$

l'origine del tempo essendo sempre all'origine del moto che si esegue sopra aa', e l'unità di tempo essendo la durata d'una vibrazione intera.

Finchè t è minore di z, l'arco $2\pi(t-z)$ è negativo, e ciò indica che il moto non sia ancora giunto alla molecola m; ma continuando a crescere t, $t-z$ prende successivamente i valori $0, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1$, corrispondenti all'origine del moto alla velocità massima a, alla velocità nulla, che ha luogo al termine della prima metà della vibrazione, quindi alle velocità negative corrispondenti alla seconda metà.

Il coefficiente a, il quale rappresenta la velocità massima della molecola m, è, senza dubbio, dipendente dalla distanza z e dalla velocità massima che si genera in aa'; ma considerando la distanza z come grandissima, si può supporre costante quel coefficiente per valori di z che fossero vicinissimi l'uno all'altro.

Laonde, in cotesto modo di propagazione, la direzione del raggio luminoso è la retta ol; ed i moti dell'etere presentano questo doppio carattere: 1° essi si eseguono trasversalmente e perpendicolarmente al raggio; 2° si conservano in un piano determinato che passa per la retta aa' dello scuotimento primitivo.

Gli stessi moti han luogo con gli stessi periodi e i medesimi caratteri, in tutti i piani meridiani d'un cilindro, che avesse per asse la retta aa', e per raggio la distanza $om = z$; la superficie di questo cilindro è ciò che *superficie dell'onda* s'addimanda, poichè essa contiene tutti i punti che ricevono allo stesso istante il moto emanato dalla stessa origine. La generatrice gg' di cotesto cilindro non debbesi però intendere limitata, e propriamente quanto la aa' che segna l'ampiezza del moto primitivo; ma essa generatrice aumenta a misura che l'onda si propaga più lungi, ed è solo necessario che le distanze og, og' sieno sensibilmente eguali ad om. Se potesse esistervi una sola molecola vibrante da a in a', come qui la consideriamo, essa non produrrebbe una luce egualmente intensa in tutte le direzioni; così, per esempio, il moto da essa eccitato sul prolungamento di aa', non è atto ad eccitar la sensazione della luce, quantunque sia esso analogo a quello che costituisce, nell'aria, l'onda sonora; e sembra che nelle direzioni obblique, comprese tra om ed oa', l'intensione della luce andasse decrescendo secondo una certa legge. Per un tal motivo noi consideriamo particolarmente l'onda cilindrica, ammettendo così che il moto vibratorio costituente la luce, si esegua sulla stessa superficie dell'onda, e perpendicolarmente alla retta di trasmissione om, ovvero al raggio luminoso.

La lunghezza media delle ondulazioni luminose visibili, essendo circa 5 diecimillesimi di millimetro, può supporsi che l'ampiezza aa' di vibrazione non giunga ordinariamente a questo limite; e per conseguenza considerando il moto vibratorio distante per qualche decimetro dalla sorgente che genera la luce, ciò è sufficiente per ammettere esser questa distanza grandissima rispetto all'ampiezza del moto. Allora se si considera, ad un tempo, una piccola estensione dell'onda cilindrica, ove tutti i moti concordano, è permesso il dire che l'*onda è piana* e perpendicolare alla direzione del raggio luminoso, o, con più esattezza, perpendicolare all'asse del fascio di luce. Al contrario, essendo dato, sotto tali condizioni, un fascio di luce, risultante da un moto elementare permanente, ci formeremo un'idea della sua costituzione fisica; immaginando un piano perpendicolare al suo asse, e concependo tutte le molecole d'etere, contenute in questa sezione, vibrare, quasi tutte un pezzo, scorrendo in questo piano con un moto comune di *va e vieni*, parallelo sempre alla direzione dello scuotimento primitivo.

La formola $v = a$ sen $2\pi(t-z)$, la quale da principio si riferiva ad una sola molecola, si applica evidentemente a tutte le molecole della sezione qui innanzi considerata, ed a, t, e z hanno, allo stesso istante, uno stesso valore per ciascuna di esse molecole. In ordine a che giova osservare che l'espressione della velocità non soffre alterazione alcuna, quando si tolgano, sia da t sia da z tutte le unità intere che in queste grandezze son contenute. E per fermo sia

$$t = n + \theta, \quad z = n' + \varphi,$$

e sarà

$$2\pi(t-z) = 2\pi(n - n' + \theta - \varphi),$$

e

$$\text{sen}2\pi(t-z) = \text{sen}2\pi(\theta - \varphi).$$

Allora φ sarà una frazione positiva compresa tra 0 e 1; e poichè l'unità è la lunghezza d'on-

dulazione, sarà φ una frazione di questa lunghezza. Inoltre, essendo che i diversi periodi d'una vibrazione intera corrispondono esattamente alle diverse posizioni d'una intera lunghezza d'ondulazione, potremo ammettere che φ rappresenti la *fase* di vibrazione, vale a dire che la molecola vibrante si trovi ne' punti di riposo quando $\varphi=0$ e $\varphi=\frac{1}{2}$; si trovi nel mezzo del suo corso di gita quando $\varphi=\frac{1}{4}$, e in quello di ritorno quando $\varphi=\frac{3}{4}$. Questa sostituzione della fase alla distanza o alla lunghezza d'ondulazione, apporta un vantaggio, quando si tratta di paragonar tra loro parecchie onde, che giungono sopra una stessa molecola; poichè, invece di dire che queste onde hanno percorso de' camini che differiscono, per esempio, di due vibrazioni ed un quarto, si potrà dire che la differenza delle loro fasi è un quarto di vibrazione, ovvero che all'istante in cui la molecola si troverebbe nel suo punto di riposo, obbedendo alla seconda, essa si troverebbe giusto nel mezzo del suo corso di *gita*, obbedendo alla prima; per una differenza di $\frac{3}{4}$ questo punto sarebbe il mezzo del corso di *ritorno*.

Laonde, conservando t e z nella formola (5) delle velocità, potremo indifferentemente considerare z sia come indicante una distanza all'origine delle vibrazioni, sia pure come una fase di vibrazione.

Le onde o le vibrazioni concordanti son quelle per le quali z differisce per un numero intero di lunghezze d'ondulazione, ovvero quelle che hanno una stessa fase; le onde o le vibrazioni discordanti son quelle per le quali z non differisce per un numero intero di lunghezze d'ondulazioni, ovvero quelle che non hanno una stessa fase.

Il fascio di cui è parola, e la velocità del quale è $v=a \operatorname{sen} 2\pi(t-z)$, appartiene ad un colore rigorosamente semplice ed elementare, il quale è caratterizzato dalla durata della vibrazione, o dalla lunghezza dell'onda, che n'è una conseguenza; poichè tutte le vibrazioni della stessa durata si comunicano alla stessa distanza nel tempo stesso, e le vibrazioni di minor durata danno delle onde di minor lunghezza.

L'intensione di questo fascio è dipendente da a ovvero dal coefficiente di velocità; or, quando questa velocità giunge al fondo dell'occhio, per agitar l'etere e produrre in noi la sensazione di luce, l'effetto fisiologico varia, senza dubbio, come l'effetto meccanico; e poichè questo è proporzionale al quadrato della velocità, così si ammette che l'effetto fisiologico, del pari, sia nella ragione stessa, vale a dire che l'intensione d'un fascio di luce è rappresentata dal quadrato del coefficiente della velocità di vibrazione.

In cotal modo possiamo paragonare solo le intensioni appartenenti ad uno stesso colore, imperciocchè, per due colori diversi, essendo diversa ancora la durata delle vibrazioni, le alternative di riposo e di moto divengono disuguali, nè v'ha più, per conseguenza, paragone fisiologico alcuno; d'altronde ciò avviene parimente nelle vibrazioni sonore; e se è impossibile paragonare le intensioni di due colori, l'uno rosso e l'altro violetto, non è meno impossibile paragonare le intensioni di due suoni, l'uno grave e l'altro acuto.

Dobbiamo, da ultimo, aggiungere che il fascio elementare, del quale abbiamo indicato i caratteri, è un fascio di luce *completamente polarizzata*; poichè la luce polarizzata è quella le cui vibrazioni son tutte parallele tra loro. Noi ammetteremo con la maggior parte dei fisici, che in un fascio polarizzato, il *piano di polarizzazione* sia quello che passa per l'asse del fascio ed è perpendicolare al moto di vibrazione, in guisa tale che le molecole vibranti passano alternativamente dall'uno all'altro lato di questo piano; e quindi risulta che il *piano di polarizzazione* è in realtà il *piano d'equilibrio*.

Ammessa una volta cotesta definizione per una vibrazione semplice, andiamo ora a vedere come si possa trovare la risultante di molti moti vibratorii, con la doppia condizione che essi appartengano, cioè, alla stessa specie di luce, ovvero che abbiano esattamente la stessa durata, e che si propaghino secondo la stessa retta, ossia che diano origine a fasci di luce, i cui assi sieno sensibilmente paralleli.

Proposizione III. Due vibrazioni rettangolari concordanti posson esser sempre rimpiazzate da una sola vibrazione risultante, la direzione e il coefficiente di velocità della quale sono rappresentati dalla diagonale del rettangolo costruito su i coefficienti delle velocità delle due vibrazioni componenti.

Sieno $v=a \operatorname{sen} 2\pi(t-z)$, e $v'=a' \operatorname{sen} 2\pi(t-z)$ le velocità di vibrazioni date.

Sugli assi ox, oy (*fig.* 5) che rappresentano le direzioni di queste vibrazioni, il cui effetto fa sentirsi sulla molecola o, prendiamo le lunghezze oa, oa' eguali rispettivamente ai coeffi-

cienti a ed a' e costruiamo il rettangolo $oaba'$; la diagonale ob segna la direzione della vibrazione risultante, e la lunghezza di quella diagonale dinota il coefficiente di velocità della stessa vibrazione risultante. E per fermo, poichè le vibrazioni sono concordanti, la molecola o è sempre, allo stesso istante, sollecitata da velocità proporzionali ad a ed a', or nel senso ox, oy, or nel senso ox', oy'. Essa deve dunque muoversi da o verso b o da o verso b', e quindi la direzione della diagonale è la direzione della vibrazione risultante. Sia u la sua velocità, questa avrà la forma $u=b\,\mathrm{sen}\,2\pi(t-z)$; e poichè ad ogni istante, dev'essere $u^2=v^2+v'^2$, ne risulta $b^2=a^2+a'^2$. In questo caso dunque l' intensione della luce dell' onda risultante è uguale alla somma delle intensioni delle onde componenti.

Ricordandosi quel che qui innanzi si è detto intorno al carattere della luce polarizzata, si vede similmente che due fasci elementari, polarizzati ad angolo retto e concordanti, si compongon sempre in un fascio solo polarizzato in un piano pp', il quale fa col piano di polarizzazione oy del primo fascio che vibra secondo ox, un angolo ω tale che $\tan\omega=\frac{a'}{a}$; quest'angolo è di 45° quando si ha $a=a'$, vale a dire quando i raggi hanno la stessa intensione.

Reciprocamente, una vibrazione data può sempre scomporsi, in infiniti modi, in due vibrazioni rettangolari, e tutte coteste soluzioni riduconsi ad una sola, o che si dia la direzione di una di esse, o che si dia il suo coefficiente di velocità, purchè questo sia minore di quello della vibrazione data.

Assumiamo ob per direzione della vibrazione data, ed $u=b\,\mathrm{sen}\,2\pi(t-z)$ per sua velocità; le sue componenti v e v' secondo gli assi ox ed oy sono $v=u\cos\omega$ e $v'=u\,\mathrm{sen}\,\omega$, ovvero $v=b\cos\omega\,\mathrm{sen}\,2\pi(t-z)$ e $v'=b\,\mathrm{sen}\,\omega\,\mathrm{sen}\,2\pi(t-z)$, o finalmente $v=a\,\mathrm{sen}\,2\pi(t-z)$, $v'=a'\,\mathrm{sen}\,2\pi(t-z)$, ponendo $a=b\cos\omega$, ed $a'=b'\,\mathrm{sen}\,\omega$.

Questa proposizione spiega e giustifica la legge di Malus (452), sulla divisione della luce polarizzata. La vibrazione che si fa secondo ob altro non è, in sostanza, che un fascio d'intensione b^2 polarizzato nel piano pp' perpendicolare alla vibrazione; e gli assi oy ed ox rappresentano, uno la sezione principale del prisma a doppia rifrazione, che fa un angolo ω col piano di polarizzazione, l'altro la perpendicolare alla sezione principale. Il fascio polarizzato nella sezione oy è quello che vibra secondo ox, e il cui coefficiente di velocità è $a=b\cos\omega$, e che per conseguenza ha un'intensione espressa da $b^2\cos^2\omega$; il fascio polarizzato perpendicolarmente alla sezione principale è quello che vibra in questa sezione, ha per coefficiente di velocità a' ovvero $b\,\mathrm{sen}\,\omega$, e la sua intensione è espressa da $b^2\,\mathrm{sen}^2\,\omega$.

Laonde l'azione del prisma a doppia rifrazione sopra un fascio polarizzato riducesi ad una semplice azione scomponente, trasformando un moto vibratorio, che si eseguiva in una direzione unica e determinata, in due altri moti vibratorii che ora si effettuano in due altre direzioni perpendicolari tra loro.

Conviene intanto notare che, dopo la scomposizione che si effettua nel prisma a doppia rifrazione, le due vibrazioni perpendicolari non possono essere più concordanti se non sotto talune condizioni, a cagione delle disuguaglianza di velocità de' raggi ordinario e straordinario.

Proposizione IV. Le vibrazioni concordanti, che, propagandosi sulla stessa retta, si eseguono in direzioni diverse, possono esser sempre rimpiazzate da una sola vibrazione risultante, avente la stessa fase, e la direzione e il coefficiente di velocità della quale si determinano per mezzo delle direzioni e de'coefficienti di velocità delle vibrazioni componenti.

Due onde piane che si propagano secondo la stessa retta, che supponiamo perpendicolare al piano della figura 6, giungono simultaneamente per scuotere la molecola o, e per farla vibrare, l' una nella direzione oa, l'altra nella direzione oa'. La molecola, obbedendo separatamente alla prima e alla seconda, prenderebbe le velocità $v=a\,\mathrm{sen}\,2\pi(t-z)$ e $v'=a'\,\mathrm{sen}\,2\pi(t-z)$. Conduciamo per o due assi perpendicolari ox ed oy, e dinotiamo con ω ed ω' gli angoli formati da oa ed oa' con l' asse x; allora scomponendo le velocità v e v' in due altre dirette secondo gli assi ox ed oy, saranno $v\cos\omega$, $v'\cos\omega'$ le componenti secondo l' asse delle x, e $v\,\mathrm{sen}\,\omega$, $v'\,\mathrm{sen}\,\omega'$ quelle secondo l' asse delle y; laonde la velocità risultante, che chiameremo u, e la quale è appunto la risultante delle due velocità ad angolo retto $v\cos\omega+v'\cos\omega'$, $v\,\mathrm{sen}\,\omega+v'\,\mathrm{sen}\,\omega'$, sarà espressa da

$$u^2=(v\cos\omega+v'\cos\omega')^2+(v\,\mathrm{sen}\,\omega+v'\,\mathrm{sen}\,\omega')^2$$
$$=v^2+v'^2+2vv'\cos(\omega-\omega');$$

donde, col sostituire in luogo di v e v' i loro valori, risulta

$$u=b\,\mathrm{sen}\,2\pi(t-z),$$

e $b=\sqrt{a^2+a'^2+2aa'\cos(\omega-\omega')}$ [illegible]

Pertanto, al modo stesso che esiste, in generale, una forza capace di produrre, sopra un punto, quell'effetto medesimo che produrrebbero due forze distinte, vi è pure un'onda unica capace a rimpiazzare due onde concordanti. Quest' *onda risultante* è caratterizzata, come le onde elementari, dalla direzione del suo moto e dal coefficiente di sua velocità; or questi due dati ottengonsi in un modo semplicissimo, con la costruzione seguente: considerate i coefficienti di velocità delle onde componenti come forze dirette secondo la direzione del moto di queste onde, e prendetene la risultante, la grandezza di questa risultante rappresenta il coefficiente della velocità, e la direzione rappresenta quella del moto dell'onda risultante.

L'angolo θ, formato dalla direzione della risultante con l'asse delle x, è dato dalla formola

$$\tan\theta = \frac{a\text{sen}\omega + a'\text{sen}\omega'}{a\cos\omega + a'\cos\omega'}.$$

È facile riconoscere che pe' casi in cui le onde elementari sieno coincidenti, perpendicolari oppure opposte, i valori di $\omega-\omega'$ sono rispettivamente $o, \frac{\pi}{2}, e\ \pi$; e quelli di b sono $a+a'$, $\sqrt{a^2+a'^2}$ ed $a-a'$; laonde rappresentando a^2 ed a'^2 le intensioni de' due fasci componenti, e b^2 quella del fascio risultante, avviene che, nel secondo caso, relativo alla proposizione precedente, l'intensione risultante è uguale alla somma delle intensioni componenti; nel primo caso questa somma dev' essere aumentata, e nel terzo caso diminuita del doppio prodotto delle radici quadrate delle intensioni componenti.

Giova osservare il modo come sono contati i due angoli ω ed ω': secondo l'uso ordinario ciascuno di essi dev' essere contato a partire dall' asse ox e da zero sino a 2π; in tal modo l'angolo $\omega-\omega'$ rappresenta giusto l'angolo delle due direzioni od ed oa', il quale può esso stesso estendersi sino a 2π. Per persuadersi di ciò basta supporre che la direzione oa' divenga successivamente ob, oc, oppure od, passando così ne' tre quadranti che non contengono oa. Ma nelle sperienze, dove, in generale, si hanno a considerare de' piani di polarizzazione diversi, e delle sezioni principali de' prismi a doppia rifrazione diversamente inclinati, sia tra loro, sia rispetto a quei piani, è più commodo, in generale, di estendere il valore degli angoli solo fino a $\frac{\pi}{2}$, ovvero di non farli sorpassare il primo quadrante: ciò è sempre possibile; solo che in questo caso convien ricorrere ad una correzione particolare, per ristabilire gli angoli coi segni che gli competono. Cotesta correzione consiste nell' aggiungere, nell' espressione della velocità, una mezza fase, ovvero $\frac{1}{2}$ a tutte le vibrazioni, le quali, invece di essere projettate sulle stesse rette scelte per punti di partenza, si trovano projettate su i prolungamenti di queste rette. Un esempio dichiarerà meglio quanto abbiamo asserito: le componenti della prima vibrazione essendo sempre $v\cos\omega$ e $v\text{sen}\omega$ rispetto agli assi ox ed oy, quelle della seconda saranno anche sempre $v'\cos\omega'$ e $v'\text{sen}\omega'$, sia che si trovino dirette secondo oa' oppure secondo ob, oc, od, ed ω' rappresenta rispettivamente gli angoli $a'ox$, box', cox', dox. Le velocità totali sull' asse delle x e su quello delle y sono rispettivamente

$$v\cos\omega + v'\cos\omega',\quad v\ \text{sen}\omega + v'\ \text{sen}\omega',$$

ovvero

$$a\cos\omega\ \text{sen}\ 2\pi\,(t-z) + a'\cos\omega\ \text{sen}2\pi\,(t-z).$$
$$a\ \text{sen}\omega\ \text{sen}\ 2\pi\,(t-z) + a'\ \text{sen}\omega'\ \text{sen}\ 2\pi\,(t-z).$$

Posto ciò, se l'angolo ω' fosse stato contato a partire da ox, $\cos\omega'$ sarebbe risultato negativo nel secondo e nel terzo quadrante, cioè per le direzioni ob ed oc, le quali cadono sopra ox' prolungamento di ox; la formola dunque sarà falsa, e per correggegla basterà scrivere $a'\cos\omega'\ \text{sen}\ 2\pi\,(t-z-\frac{1}{2})$, che nel fatto diviene $-a'\cos\omega'\ \text{sen}\ 2\pi\,(t-z)$; parimente sull' asse delle y, $\text{sen}\omega'$ sarebbe stato negativo per le direzioni oc ed od, e per correggere l'errore, basta scrivere $a'\ \text{sen}\omega'\ \text{sen}\ 2\pi(t-z-\frac{1}{2}) = -a'\ \text{sen}\omega'\ \text{sen}\ 2\pi\,(t-z)$. In questo modo appunto abbiamo dovuto procedere nello stabilire la teoria di Fresnel su i colori delle lamine cristallizzate (460).

La composizione delle onde estendendosi ad un numero qualunque, ne risulta che tutte le onde concordanti, le quali si propagano secondo la stessa linea, posson sempre, quali che sieno le direzioni diverse di loro vibrazioni, ridursi ad un' onda unica, il coefficiente di velocità e la direzione della quale sono determinate. Quest'onda risultante è necessariamente polarizzata, poichè è questo sempre il carattere d'un'onda unica.

Proposizione V. Le vibrazioni non concordanti, le quali, propagandosi sulla medesima

retta, si eseguono nella stessa direzione, possono esser sempre rimpiazzate da una sola vibrazione, la cui direzione è la stessa, ed il coefficiente di velocità e la fase delle quale si determinano per mezzo de' coefficienti di velocità e delle fasi delle vibrazioni componenti.

Due onde piane giungono sulla molecola o per agitarla nel piano della figura; i loro moti son paralleli, si eseguono, cioè sulla medesima retta; ma non sono concordanti, per modo che all' istante in cui il primo perviene, per esempio, ad acquistare la sua velocità massima, l' altro non giunge ad acquistare il massimo di sua velocità, trovandosi più o meno lontano da questo limite; abbiamo dunque in questo caso

$$v = a \operatorname{sen} 2\pi(t-z),\quad v' = a' \operatorname{sen} 2\pi(t-z').$$

Sia u la velocità risultante, la quale eguaglia la somma delle velocità elementani, prese co' loro segni, e sarà

$$u = a \operatorname{sen} 2\pi(t-z) + a' \operatorname{sen} 2\pi(t-z'),$$

ovvero

$$u = \operatorname{sen} 2\pi t\,(a \cos 2\pi z + a' \cos 2\pi z') - \cos 2\pi t\,(a \operatorname{sen} 2\pi z + a' \operatorname{sen} 2\pi z').$$

Sia $b \cos 2\pi x = a \cos 2\pi z + a' \cos 2\pi z'$
$b \operatorname{sen} 2\pi x = a \operatorname{sen} 2\pi z + a' \operatorname{sen} 2\pi z$,

ed è facile dedurre

$$u = b \operatorname{sen} 2\pi(t-x)$$

e $\quad b = \sqrt{a^2 + a'^2 + 2aa' \cos 2\pi(z-z)}.$

Laonde la velocità risultante è della stessa forma delle velocità componenti, ovvero, in altri termini, la molecola, di cui si tratta, riceve dai due sistemi di onde, il medesimo moto, come se essa fosse sollecitata da un sistema unico, il cui coefficiente di velocità sarebbe b, e la fase a.

Il valore di b è della stessa forma di quello che si trova per le onde concordanti; solo che l'angolo $\omega-\omega'$ delle direzioni delle vibrazioni è qui rimpiazzato da $2\pi(z-z')$, cioè dal *valore angolare* della differenza delle fasi.

Il valore di x facilmente deducesi dalle due equazioni ausiliariamente stabilite; di fatto con la successiva eliminazione di b, a' ed a si ottiene

$$\frac{a}{a'} = \frac{\operatorname{sen} 2\pi(x-z')}{\operatorname{sen} 2\pi(z-x)};\quad \frac{a}{b} = \frac{\operatorname{sen} 2\pi(x-z')}{\operatorname{sen} 2\pi(z-z')};$$

$$\frac{a'}{b} = \frac{\operatorname{sen} 2\pi(z-x)}{\operatorname{sen} 2\pi(z-z')};$$

il che vuol dire che i seni degli angoli

$2\pi(x-z')$, $2\pi(z-x)$ e $2\pi(z-z')$

sono tra loro come le quantità a, a' e b.

Pertanto, costruendo con i due coefficienti di velocità a ed a', un parallelogrammo, il cui angolo sia eguale al valore angolare della differenza delle fasi, la diagonale di questo parallelogrammo rappresenta il valore di b, e gli angoli di questa diagonale con a ed a' sono i valori angolari delle differenze di fase tra l'onda risultante e la seconda onda, e tra la prima onda e la risultante.

A questa composizione di onde parallele non concordanti si riferisce il notevole esempio della spiegazione de' colori delle lamine cristallizzate (460).

Continuando coteste costruzione per comporre le risultante delle prime due vibrazioni con una terza, quindi la nuova risultante con una quarta componente, si giugnerà ad una risultante finale, d'una certa fase, e d'un certo coefficiente di velocità, che sola rappresenta tutti i dati sistemi di vibrazioni parallele non concordanti.

Proposizione VI. Due vibrazioni discordanti, le quali propagandosi sopra una medesima retta, si eseguono in direzioni differenti, non possono, in generale essere rimpiazzate da una vibrazione unica, ma lo possono esser sempre da due vibrazioni discordanti, le cui direzioni sieno perpendicolari.

Sieno $v = a \operatorname{sen} 2\pi(t-z)$ e $v' = a' \operatorname{sen} 2\pi(t-z')$ la velocità delle due vibrazioni in questione, e dinotiamo con ω, ω' gli angoli delle loro direzioni con l' asse delle x; le componenti della prima, secondo i due assi saranno $v \cos \omega$, $v \operatorname{sen} \omega$, e quella della seconda $v' \cos \omega'$, $v' \operatorname{sen} \omega'$; estendendo gli angoli ω, ω', sino a 2π le velocità totali saranno $v \cos \omega + v' \cos \omega'$ secondo l' asse delle x, e $v \operatorname{sen} \omega + v' \operatorname{sen} \omega'$ secondo quello delle y.

Sia u la risultante delle due vibrazioni discordanti dirette secondo l' asse delle x, e b il suo coefficiente di velocità; sia parimente u' la risultante delle altre due vibrazioni dirette secondo l'asse delle y e b' il suo coefficiente di velocità. Procedendo allo stesso modo come si è fatto nella proposizione precedente, è facile trovare

$$u = b \operatorname{sen} 2\pi(t-x);$$

$$b^2 = a^2 \cos^2 \omega + a'^2 \cos^2 \omega' + 2aa' \cos \omega \cos \omega' \cos 2\pi(z-z');$$

$$u' = b \operatorname{sen} 2\pi(t-x');$$

$$b'^2 = a^2 \operatorname{sen}^2 \omega + a'^2 \operatorname{sen}^2 \omega' + 2aa' \operatorname{sen} \omega \operatorname{sen} \omega' \operatorname{sen} 2\pi(z-z').$$

Or perchè queste due risultanti, tra loro perpendicolari, fossero concordanti, sarebbe necessario che avessero la stessa fase, ovvero che fosse $x = x'$; la quale condizione per essere soddisfatta, esige che sia

un numero impari di mezze lunghezze d' ondulazione, $\operatorname{sen}2\pi\delta = o$, $\cos 2\pi\delta = -1$, ed $y = -x$; l' ellisse dunque si cangia, anche in questo caso in una retta dinotata da ox'.

Quando $z' - z = \frac{2n+1}{4}$, cioè eguale ad un numero impari di quarti d' ondulazione, allora $\operatorname{sen}2\pi\delta = \pm 1$. $\cos 2\pi\delta = o$, $y^2 + x^2 = p^2$; in questo caso dunque l' ellisse si volta in un cerchio, il cui diametro $2p$ è uguale all' ampiezza del moto di vibrazione. Per $n = o$, $z' - z = \frac{1}{4}$; quindi il secondo raggio ritarda sul primo per un quarto d' ondulazione; laonde, quando la molecola trovasi all' estremità della sua corsa, ovvero in riposo in p, essa riceve l' impulso del secondo raggio che trovasi in quel punto al massimo di sua velocità, perchè gli rimane a fare ancora un altro quarto di vibrazione per giungere al riposo in p'; la rotazione sul cerchio si esegue adunque da dritta a sinistra. All' opposto, per $n = 1$, si ha $z' - z = \frac{3}{4}$, e però quando la molecola trovasi in p. il secondo raggio che deve fare ancora altri $\frac{3}{4}$ di vibrazione trovasi al suo massimo di velocità; ma esso va da o in q'; e per conseguenza esso fa passare la molecola, che trovasi in p, al di sotto dell' asse delle x, e le imprime così un moto da sinistra a dritta. In generale, si vede che il moto da dritta a sinistra ha luogo per n pari, e quello da sinistra a dritta ha luogo per n impari.

Da ultimo quando il valore di $z' - z$ non è compreso in alcuna delle tre serie precedenti, il moto è sempre ellittico, e l' asse maggiore dell' ellisse trovasi ora su ox', ed ora su oy', secondo che i valori di $z - z'$ si avvicinano a quelli che dan luogo ad una vibrazione rettilinea sulla prima o sulla seconda di quelle rette.

Mercè cotesta composizione di moti perpendicolari e discordanti abbiamo potuto dar ragione de' fenomeni della polarizzazione circolare.

Proposizione VIII. Un fascio di luce naturale, la cui intensione è rappresentata da 1, può essere considerato come composto di due fasci polarizzati ad angolo retto, ciascuno dei quali ha un' intensione $\frac{1}{2}$, e la direzione assoluta del sistema de' due piani di polarizzazione resta arbitrario.

Immaginiamo in effetti due fasci polarizzati ad angolo retto, e che si propagano secondo la stessa retta; sieno v e v' le loro velocità, z e z' le loro fasi, ed a, a' i loro coefficienti di velocità; si avrà così

$$v = a\operatorname{sen}2\pi(t-z), \quad v' = a'\operatorname{sen}2\pi(t-z').$$

L' insieme di questi due fasci non potrebbe esser considerato come rappresentante luce naturale, se, attraversando un prisma a doppia rifrazione, non desse due immagini della stessa intensione, in tutte le posizioni della sezione principale; essendo questo uno de' caratteri della luce naturale, o non polarizzata. Immaginiamo dunque due assi ox ed oy, il secondo de' quali rappresenta la sezione principale, ed il primo la perpendicolare a questa sezione; sia ω l' angolo che il piano di polarizzazione del primo fascio forma con oy, e per conseguenza anche l' angolo che la sua vibrazione fa con l' asse delle x; la velocità del secondo fascio farà con lo stesso asse un angolo $\omega' = \omega + \frac{\pi}{2}$.

Scomponiamo ora ciascuna vibrazione in due altre dirette secondo gli assi; le componenti della prima secondo gli assi delle x e delle y saranno rispettivamente $v\cos\omega$ e $v\operatorname{sen}\omega$; e quelle della seconda saranno $v'\cos\omega'$, $v'\operatorname{sen}\omega'$. Ora cercando come si è fatto innanzi (*prop.* VI), i coefficienti di velocità b e b' delle vibrazioni risultanti su ciascun asse, avranno

$$b^2 = a^2\cos^2\omega + a'^2\cos^2\omega' + 2aa'\cos\omega\cos\omega'\cos 2\pi(z-z'),$$
$$b'^2 = a^2\operatorname{sen}^2\omega + a'^2\operatorname{sen}^2\omega' + 2aa'\operatorname{sen}\omega\operatorname{sen}\omega'\operatorname{sen}2\pi(z-z');$$

ovvero, per essere $\omega' = \omega + \frac{\pi}{2}$, ed $a = a'$, sarà

$$b^2 = a^2\left[1 - \operatorname{sen}2\omega\cos 2\pi(z-z')\right],$$
$$b'^2 = a^2\left[1 + \operatorname{sen}2\omega\cos 2\pi(z-z')\right].$$

Intanto essendo b^2 l'intensione dell' immagine ordinaria, e b'^2 quella dell' immagine straordinaria, è necessario che sia continuamente $b^2 = b'^2 = a^2$. Or questa condizione può essere soddisfatta in tre modi cioè: pei valori variabili di ω, per i valori variabili di $z - z'$, e per quelli variabili simultaneamente di ω e di $z - z'$ (*Ved. prop.* XI).

1°. E per fermo se si suppone che la sezione principale del prisma a doppia rifrazione resti fissa, e che intanto, l'angolo ω variando continuamente, $\operatorname{sen}2\omega$ prenda tanti valori positivi per quanti ne prende negativi in un tempo brevissimo, eguale alla durata delle nostre sensazioni visuali, i valori medii di b^2 e b'^2 durante questo tempo saranno eguali; e perciò le due immagini ordinaria e straordinaria avranno lo stesso splendore, il quale ci apparirà costante, quantunque in realtà esso sia variabile

no dato, può essere scomposto, in una infinità di modi, in vibrazioni rettangolari concordanti, ed in un modo solo in due vibrazioni rettangolari concordanti ed eguali. Vale lo stesso per la polarizzazione d' un fascio bianco.

Similmente, *polarizzare per rifrazione*, sia mediante un mezzo diafano, come l' acqua o il vetro, sia mercè un mezzo cristallizzato qualunque, vale ancora il riportare ovvero girare nello stesso piano le vibrazioni trasmesse. Ma i mezzi cristallizzati godono di questa proprietà di trasportare, in generale, le vibrazioni in piani perpendicolari tra loro, e per conseguenza di produrre, anche in generale, due fasci polarizzati ad angolo retto: questi fasci or sono biforcati o separati l' uno dall' altro, come nel prisma a doppia rifrazione sul quale abbiam basato il nostro ragionamento; ed ora continuano a propagarsi secondo la stessa direzione. Resta dunque a vedere quali sieno, in questi casi, i fenomeni ai quali essi danno origine, e ciò formerà il subbietto delle due proposizioni seguenti.

Proposizione IX. Un fascio di luce naturale, il quale abbia attraversato una lamina di cristallo a facce parallele, forma ancora un sistema di due fasci eguali, discordanti e polarizzati ad angolo retto, e, tra questo sistema e quello che costituisce il fascio naturale, v'ha un carattere distintivo, il quale si manifesta con lo spostamento delle frange diffratte.

Applicando ad una lamina cristallizzata a facce parallele, i ragionamenti tenuti in ordine al prisma a doppia rifrazione, giungeremo allo stesso risultamento per le espressioni delle immagini ordinaria e straordinaria, cioè

$$b^2 = a^2[1 - \text{sen}2\omega\cos2\pi(z - z')],$$
$$b'^2 = a^2[1 + \text{sen}2\omega\cos2\pi(z - z')];$$

e seguendo gli stessi ragionamenti avremo $b^2 = b'^2 = a^2$.

Di fatto l' unica differenza che esiste tra la lamina e il prisma è la seguente: entrando nella lamina le due vibrazioni rettangolari non hanno tra loro se non la loro naturale differenza di fase $z - z'$, e questa differenza si conserverebbe inalterata, se il raggio ordinario e lo straordinario si propagassero con la stessa velocità nell'interno del cristallo di che è composta la lamina; ma poichè queste velocità son differenti, la differenza delle fasi dell' un raggio rispetto all' altro, all' uscir dalla lamina, sarà aumentata d' una quantità costante ε, dipendente dalla grossezza della lamina. Or, poichè ammettiamo che, in un tempo brevissimo, la differenza naturale delle fasi $z - z'$ passi per tutti i valori compresi tra *zero* ed 1, egli è evidente che, qualunque sia ε, l' espressione $z - z' + \varepsilon$ passerà per tutti gli stati di grandezza compresi tra n ed $n + 1$. In conseguenza di che, all' uscir dalla lamina, i due fasci polarizzati ad angolo retto, l' uno nella sezione principale, l' altro in un piano perpendicolare a questa sezione, avranno ancora delle intensioni eguali tra loro, ed eguali ad a^2. Questo sistema di due fasci sarà quello appunto che rimpiazzerà il fascio naturale. Egli è evidente che il sistema di due fasci e il fascio naturale abbiano la stessa intensione per ciascun colore elementare, e che, per conseguenza, l' intensione ed il colore risultante debbano rimaner gli stessi; ma vi sarà una differenza tra il sistema di due fasci, ed il fascio naturale, consistente ne' caratteri seguenti: 1° l'azimut de' piani rettangolari di polarizzazione del sistema de' fasci è fisso, invece di essere ad arbitrio; 2° le due vibrazioni rettangolari discordanti che, prima dell'interposizione della lamina cristallizzata, giungevano ad uno stesso punto, ad un dato istante, non possono più giungervi nello stesso istante, poichè l'una di esse ha sofferto, rispetto all' altra, un ritardo ε, dipendente dalla grossezza della lamina; e questo ritardo appunto è quello che produce uno spostamento nelle frange diffratte (158), quando sulle due posizioni d'un raggio naturale, le quali devono interferire, si frappongono due porzioni d' una stessa lamina cristallizzata, con l' attenzione d' incrocicchiare gli assi.

Proposizione X. Un fascio polarizzato che abbia attraversato una lamina di cristallo, a facce parallele, il cui asse è inclinato per 45° sul piano di polarizzazione, si trova trasformato in un sistema di due fasci eguali discordanti e polarizzati ad angolo retto; ma tra questo sistema e quello che costituisce un fascio naturale, v' ha de' caratteri distintivi che si manifestano, sia mercè i colori complementarii più o meno splendenti, de' quali si rivestono le due immagini prodotte da un prisma a doppia rifrazione, sia mercè le zone più o meno numerose che si sviluppano negli spettri risultanti da queste immagini.

Sia $u = a\,\text{sen}2\pi(t - z)$ la velocità di vibrazione del raggio polarizzato, e siane *oa* la direzione (*fig.* 9); si menino i due assi rettangolari *ox* ed *oy*, il secondo dei quali rappresenti la sezione principale della lamina cristallizzata; sia, in fine, ω l' angolo che questa sezione forma col piano di polarizzazione *bb'*. Le componenti della vibrazione data secondo *oy*,

cioè per l' immagine ordinaria, e secondo ox, cioè per l' immagine straordinaria, saranno rispettivamente

$$v = u \operatorname{sen}\omega = a \operatorname{sen}\omega \operatorname{sen} 2\pi(t-z),$$
$$v' = u \cos\omega = a \cos\omega \operatorname{sen} 2\pi(t-z);$$

all' uscir dalla lamina, le fasi delle due vibrazioni, le quali eran le stesse nell' entrare, diverranno differenti, a motivo del ritardo che ha sofferto quella delle due vibrazioni che più lentamente si propaga. Questo fatto lo esprimeremo rappresentando con z' la fase del raggio straordinario; ed in tal modo, all' uscir dalla lamina, le velocità saranno:

per l' immagine ordinaria
$$v = a \operatorname{sen}\omega \operatorname{sen} 2\pi(t-z),$$
e per l' immagine straordinaria
$$v' = a \cos\omega \operatorname{sen} 2\pi(t-z').$$

Col fatto si vede, come l'abbiamo annunziato, che per $\omega = 45°$ questi due fasci son polarizzati ad angolo retto, sono eguali e discordanti.

Affine di studiare i loro caratteri distintivi, facciamoli passare per un prisma a doppia rifrazione, la cui sezione principale pp' faccia un angolo ω' con la sezione principale oy della lamina cristallizzata.

Le componenti delle vibrazioni delle due immagini su questa sezione e sulla perpendicolare qq' sono, per l' immagine ordinaria, che vibra secondo qq'

$$v \operatorname{sen}\omega' \text{ e } v' \cos\omega',$$

e per l' immagine straordinaria, la quale vibra secondo pp'

$$v \cos\omega' \text{ e } v' \operatorname{sen}\omega',$$

e quest' ultima vibrazione è discordante, perchè projettata sul prolungamento di op'.

Rappresentando dunque con b^2 l' intensione dell' immagine ordinaria, con b'^2 quella dell' immagine straordiuaria, e con $z-z'$ la differenza di fase delle due vibrazioni, avremo:

$$b^2 = a^2 \operatorname{sen}^2\omega \operatorname{sen}^2\omega' + a^2 \cos^2\omega \cos^2\omega'$$
$$+ 2a^2 \operatorname{sen}\omega \operatorname{sen}\omega' \cos\omega \cos\omega' \cos 2\pi(z-z'),$$
$$b'^2 = a^2 \operatorname{sen}^2\omega \cos^2\omega' + a^2 \cos^2\omega \operatorname{sen}^2\omega'$$
$$+ 2a^2 \operatorname{sen}\omega \operatorname{sen}\omega' \cos\omega \cos\omega' \cos 2\pi(z-z'),$$

ovvero

$$b^2 = a^2[\cos^2(\omega-\omega') - \operatorname{sen}2\omega \operatorname{sen}2\omega' \operatorname{sen}^2\pi(z-z')],$$
$$b'^2 = a^2[\operatorname{sen}^2(\omega-\omega') + \operatorname{sen}2\omega \operatorname{sen}2\omega' \operatorname{sen}^2\pi(z-z')],$$

e queste formole sono identiche a quelle discusse nel n° 460.

Qui dunque ci limiteremo ad esaminare più circostanziatamente que' fenomeni che han luogo per $\omega = \omega' = 45°$. In questa ipotesi le formole precedenti riduconsi a

$$b^2 = a^2[1 - \operatorname{sen}^2\pi(z-z')] = a^2 \cos^2\pi(z-z'),$$
$$b^2 = a^2[1 - \cos^2\pi(z-z')] = a^2 \operatorname{sen}^2\pi(z-z').$$

Sia e la grossezza della lamina cristallizzata; m la grossezza corrispondente ad una mezza differenza di fase, ovvero a $z-z' = \frac{1}{2}$, pel violetto estremo, per esempio, la cui lunghezza d' ondulazione sia λ; e finalmente sia m' la grossezza corrispondente a $z-z' = \frac{1}{2}$ per un altro colore, la cui lunghezza d' ondulazione sia λ'.

Pel primo colore avremo $z-z' = \frac{e}{2m}$, e pel secondo $z-z' = \frac{e}{2m'}$, ovvero $z-z' = \frac{e}{2m}\frac{\lambda}{\lambda'}$, essendo che le grossezze m ed m' sono come le lunghezze λ e λ'. Ammettiamo che pel quarzo e la calce solfata il valore di m sia d'un mezzo centesimo di millimetro, il che per altro non è del tutto esatto; allora finchè la grossezza e della lamina non giungerà ad essere un mezzo centesimo di millimetro, si avrà $z-z' < \frac{1}{2}$; e per conseguenza il violetto non scomparirà, nè nell' una nè nell' altra delle due immagini; quando poi sarà $e =$ un mezzo centesimo di millimetro, il violetto scomparirà nell' immagine ordinaria, e giungerà al suo massimo nella straordinaria, mentre che gli altri colori persistono ancora in ambe le immagini. Se la ragione $\frac{\lambda}{\lambda'}$ delle lunghezze d' ondulazione fosse quella stessa che è nell' aria, il che sembra non allontanarsi molto dal vero, sarà $\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{2}{3}$, e per conseguenza il rosso estremo non scomparirà che per una grossezza eguale á $\frac{3}{4}$ di centesimo di millimetro. Per questa ragione avviene che le due immagini del prisma a doppia rifrazione prendano successivamente i più vivi colori, per la mancanza di alcuni colori in una delle immagini, e il predominio degli stessi elementi nell' altra; poichè quel che manca a $\cos^2\pi(z-z')$ si trova in $\operatorname{sen}^2\pi(z-z')$, essendo che la somma di queste due espressioni è uguale ad uno.

Intendesi facilmente che, se invece di ricevere queste immagini sopra un piano per osservarne i colori, li si facciano passare prima per un prisma di flint purissimo, per projettare in seguito, sopra un quadro gli spettri che ne risultano, ponendosi principalmente in quelle condizioni che sono atte a far vedere le righe dello spettro: si potran distinguere nettamente, mercè una o più larghe zone nere, il colore o i colori elementari che mancano in ciascun' immagine.

In effetti, consideriamo dapprima l' immagine ordinaria, la cui intensione è $\cos^2\pi(z-z')$; quest' immagine scomparisce per $z-z'=\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, ec. ovvero quando $2(z-z')$ è uguale ad un numero caffo; all' opposto essa acquista il massimo splendore per $z-z'=\frac{2}{2}$, $\frac{4}{2}$, $\frac{6}{2}$, ec., ovvero quando $2(z-z')$ è uguale ad un numero pari; laonde si giungerà a fare comparire e scomparire l' immagine ordinaria un gran numero di volte nell' estensione dello spettro, se si possa disporre in modo che $2(z-z')$, o il suo valore equivalente $\frac{e}{m}.\frac{\lambda}{\lambda'}$, prenda un gran numero di valori interi pari e caffi, dando a λ' tutti i valori da $\lambda'=\lambda$, corrispondenti al violetto, sino a $\lambda'=\rho$, corrispondente al rosso estremo; o pure da $\lambda'=1$ sino a $\lambda'=\frac{3}{2}$, se le ragioni delle lunghezze d' ondulazione son le stesse nel cristallo e nell' aria.

Sia dunque $\frac{e}{m}=n$, essendo n un numero intero, si avrà così $\frac{e}{m'}\ \frac{\lambda}{\lambda'}=n\ \frac{\lambda}{\lambda'}=n-n'$, e sarà d' uopo che $n-n'$ possa rappresentare più numeri interi pari o caffi, facendo passare λ' per tutti i valori compresi tra i suoi due limiti; or il più piccolo valore di λ' è λ, che corrisponde ad $n=o$. Il suo più gran valore, quello cioè che corrisponde al rosso, è ρ, corrispondente ad $n'=n\frac{\rho-\lambda}{\rho}$, o, approssimativamente, $\frac{n}{3}$; quindi perchè n sia maggiore di 3, potrà farsi $n'=1$, ed il valore corrispondente di λ' sarà $\frac{n\lambda}{n-1}$, e prendendo, per esempio, $n=300$, si avranno per n' 100 valori 1, 2, 3, 4 . . . . . 100, corrispondenti ai valori di λ' dati da

$$\lambda'=\frac{300}{299}\lambda,\ \frac{300}{298}\lambda,\ .\ .\ .\ .\ .\ \frac{300}{200}\lambda.$$

Secondo questa ipotesi, dunque, lo spettro, nel suo tutto, sarà diviso in 100 zone, 50 luminose e 50 oscure, uniformemente ripartite sulla sua lunghezza, ma che presentano però delle ineguaglianze di lunghezza assoluta, dipendenti dalla lunghezza delle ondulazioni, e, per conseguenza, dalla dispersione propria della lamina cristallizza e del prisma.

Adottando, approssimativamente un mezzo centesimo di millimetro per valore di m, nel quarzo e nelle calce solfate, le 100 zone delle quali è parola, corrisponderebbero ad una grossezza di lamina $\frac{e}{m}=300$, donde $e=1,5$, cioè la grossezza e sarebbe d' un millimetro e mezzo.

Simili fenomeni presenta lo spettro dell' immagine straordinaria, con questa circostanza degna di nota però, che le sue zone nere corrispondono alle zone brillanti dell' immagine ordinaria, e per contro.

Risulta da ultimo, che se le due immagini fossero esattamente soprapposte, tutte le zone scomparirebbero, e lo spettro, con tutte le apparenze d' uno spettro ordinario, avrebbe la seguente composizione singolare, e a prima vista meravigliosa, cioè, che ad intervalli periodici, eguali alla distanza che separa i punti medii d' una zona brillante e d' una zona oscura, la luce sarebbe polarizzata in due piani perpendicolari; ed inoltre nel mezzo di ciascuno di questi intervalli avrebbe la luce una polarizzazione circolare, e sia a sinistra sia a destra d' un cotal mezzo, avrebbe polarizzazione ellittiche contrarie.

Fizeau e Foucault hanno scoverto questi ultimi fenomeni, e li hanno studiati con rara sagacia; il loro lavoro è stato presentato all' Accademia delle Scienze nel 1846.

Proposizione XI. La persistenza delle vibrazioni luminose nelle medesime fasi e nella stessa direzione si manifesta con i fenomeni d' interferenza; e questi fenomeni fan conoscere che essa corrisponda ad una durata fisicamente valutabile, in modo relativo non solo, ma anche in modo assoluto, cioè in frazioni di secondo.

In tutte le sperienze di diffrazione, e particolarmente in quelle degli specchi di Fresnel (119), quando, a partire dalla fran-

si considera la n^{ma} frangia rossa corrispondente ad un ritardo di n lunghezze d'ondulazione in uno de'fasci, egli è certo che questa frangia non potrebbe prodursi e mostrarsi tra la n^{ma} e la $(n+1)^{ma}$ frangia nera, se le vibrazioni del corpo luminoso, qualunque esso si fosse, che invia la luce, non avesse una certa persistenza nelle stesse fasi e nella medesima direzione; poichè, delle due onde che interferiscono, quella che percorre il camino il più corto è partita dal corpo luminoso più tardi di quella che porcorre il camino più lungo; e questo ritardo è precisamente quel tempo necessario al compimento di n vibrazioni che generano le n ondulaziuni, la cui lunghezza forma la differenza dei camini percorsi. Or, se queste n vibrazioni non si fossero eseguite nella stessa direzione, e con le medesime fasi, le due ondulazioni che si presentano per interferire al punto in cui si forma la n^{ma} frangia che consideriamo, non si troverebbero più nelle stesse condizioni, sia che fossero cambiate soltanto le fasi, sia, che insieme a queste, fossero cambiate ancora le direzioni.

Dal vedere, intanto, in permanenza queste n^{ma} frangia, senza offuscarsi nè confondersi, non bisognerebbe conchiuderne che le vibrazioni del corpo luminoso sien pur esse permanenti, e che non soffrano modificazione alcuna nel corso di minuti o di ore intere; essendo solo necessario che i cangiamenti che sopraggiungono soddisfacciano a talune condizioni, che qui appresso andremo ad esporre.

Per ciò che concerne la direzione del moto, i cangiamenti possono essere qualunque, purchè due vibrazioni perpendicolari tra loro, e che non possono interferire, o due vibrazioni prossime a questa direzione non si producano nell'intervallo di tempo t, necessario al compimento delle n vibrazioni, o almeno che se esse si producono, non persistano che per un tempo brevissimo rispetto al tempo mt, esprimente la durata di nostre sensazioni. Ma abbiam veduto all'opposto (prop. VIII) che se si volesse spiegare lo stato d'un raggio naturale e non polarizzato con la sola variabilità della direzione della vibrazione risultante, bisognerebbe ammettere che nell'intervallo di tempo mt questa direzione si trovasse così spesso in una direzione data come nella direzione perpendicolare; è necessario dunque, perchè si conciliassero i fenomeni della polarizzazione con quei della diffrazione, escluder l'ipotesi della movibilità del piano della vibrazione risultante, o pure ammettere che esso cangi progressivamente; ed m sia estremamente grande, cioè che la durata delle nostre sensazioni sia grandissima rispetto al tempo t, durante il quale si compiono le n vibrazioni, le interferenze delle quali possiamo osservare.

In quanto alla differenza delle fasi, abbiam veduto parimente (prop. VIII) che essa può servire a spiegare lo stato d'un raggio naturale e non polarizzato, con la condizione che durante il tempo mt l'espressione $\cos 2\pi(z-z')$ prenda tanti valori positivi per quanti ne prende negativi, ciò che sembra anche inammissibile in questo luogo; a meno che non si supponga essere mt grandissimo rispetto a t.

Egli è dunque di massimo interesse teorico cercare quale sia la maggior differenza di camino, mercè la quale due fasci possono interferire, perchè si avesse almeno approssimativamente un'espressione del valore di t.

Fizeau e Foucault, per vie ingegnose e nuove han fatto delle esperienze importanti intorno a questo punto, e dispiacemi non poterne qui dare maggiori sviluppamenti. Hanno essi rifermato che due fasci, i quali abbiano acquistata una differenza di camino di 2000 di 3000 ed anche di circa 4000 lunghezze d'ondulazione interferiscono regolarmente come quei che differiscono solo per qualche lunghezza di onda.

Indicherò soltanto uno de' metodi de' quali han fatto uso: m ed m' (*fig.* 8) sono due specchi analoghi a quei di Fresnel, ma invece di muoversi, come questi intorno al lato secondo il quale si uniscono, muovonsi al contrario, intorno ad un asse a; la retta luminosa prodotta da una lente cilindrica è in b, in goisa tale che la luce riflessa è come se partisse dai punti p e p'. Il fascio riflesso è ricevuto sopra un piano nel quale è praticata una strettissima fenditura, e, col movimento dello specchio m', intendesi facilmente come sia agevole far cadere nella fenditura, successivamente, de'punti del fascio corrispondenti alle 50^{ma}, o alle 100^{ma} frangia d'interferenza. A queste distanze dalle frangia centrale non si trovano più colori percettibili, e l'immagine è bianca, come se i due raggi riflessi non potessero più interferire; esso è dunque un fascio bianco quello che passa per la fenditura, e che ha tutte le apparenze d'un fascio naturale; questo fascio è ricevuto da un sistema rifrangente composto da un eccellente prisma molto dispersivo e da due lenti, l'una posta innanzi e l'altra in dietro del prisma. La fenditura devesi trovare al fuoco principale della prima. Lo spettro ricevuto a conveniente distanza, presenta la più magnifica apparenza delle frange difratte, e, siccome vi si vedono egualmente

bene le righe di Frauenhoffer, così è facile contare le frange comprese tra due righe date. Sieno λ e λ' le lunghezze delle onde corrispondenti a due righe tra le quali si contano m frange; la differenza de' camini percorsi è $n\lambda$ pel primo colore, $n'\lambda'$ pel secondo, e nel tempo stesso si ha

$$n\lambda = n'\lambda' \text{ ed } m = n - n', \text{ donde si trae } n = \frac{m\lambda'}{\lambda' - \lambda}.$$

Mercè questa formola si determina il numero delle lunghezze d'onda, che forma la differenza de' camini percorsi.

Ammettendo che la velocità della luce sia di 70000 leghe o 280000 chilometri per secondo, è agevole vedere che il numero di vibrazioni, che si compiono in 1", per la luce verde, che ha una lunghezza d'onda di 5 diecimillesimi di millimetro sia di 560 milioni di milioni; se due fasci di questa luce interferiscono con una differenza di camino di 5600 lunghezze d'onda, il tempo necessario a queste 5600 vibrazioni non è che un centomilionesimo di secondo. Ora supponendo che le nostre percezioni visuali durino soltanto $\frac{1}{100}$ di secondo, questo tempo conterrà ancora mille milioni di volte quello che è necessario alle 5600 vibrizioni. Sta dunque bene l'ammettere, come abbiam fatto più innanzi, che mt sia estremamente grande rispetto a t.

Proposizione XII. Quando un fascio di luce polarizzata si riflette alle superficie d'un mezzo diafano, l'intensione del fascio riflesso è rappresentata da

$$\frac{\text{sen}^2(i-i')}{\text{sen}^2(i+i')}\cos^2\theta + \frac{\tan^2(i-i')}{\tan^2(i+i')}\text{sen}^2\theta\ ;$$

e l'angolo del suo piano di polarizzazione col piano d'incidenza è dato dalla formola

$$\tan\theta' = \frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}\tan\theta.$$

In queste due formole

1 è l'intensione del fascio incidente;

i, i' sono gli angoli d'incidenza e di rifrazione;

θ, θ' sono gli angoli de' piani di polarizzazione de' fasci incidenti e riflessi col piano d'incidenza o col piano di riflessione.

Un'onda piana ap (*fig.* 10) giunge, sotto un'incidenza i, alla superficie di separazione di due mezzi, dell'aria, per esempio, e del vetro; essa è polarizzata nel piano d'incidenza, che supporremo esser lo stesso piano della figura, in modo che le vibrazioni si eseguono parallelamente ad ab e perpendicolarmente al piano abp. Le densità d e d' essendo differenti ne' due mezzi, così alla superficie di separazione avviene una divisione di moto; una porzione dell'onda si riflette facendo l'angolo di riflessione uguale a quello d'incidenza; l'altra si trasmette nel vetro sotto un angolo i' tale che si ha sen$i$:seni' : : λ: λ', essendo λ, λ' le lunghezze delle ondulazioni della stessa specie di luce nell'aria e nel vetro.

Siano u, v e v' le velocità delle onde incidente, riflessa, e rifratta, ed a, h ad r ne sieno i rispettivi coefficienti, per modo che si abbia

$$u = a\,\text{sen}\,2\pi(t-z),\quad v = h\,\text{sen}\,2\pi(t-z)$$
$$v' = r\,\text{sen}\,2\pi(t-z).$$

Si ammette che nel caso delle vibrazioni perpendicolari al piano d'incidenza, si debba avere ad ogni istante

$$u = v + v', \text{ e per conseguenza } a = h + r.$$

Considerando da un'altra parte le forze vive, dalle quali son animate le masse d'etere, corrispondenti ad una lunghezza d'ondulazione, sia sul fascio incidente, sia su quello riflesso, o su quello rifratto, è necessario che la prima eguagli la somma delle altre due. Queste forze vive sono rispettivamente $d\lambda pcu^2$, $d\lambda pcv^2$, $d'\lambda' p'cv'^2$: in effetti, il volume di etere corrispondente ad una lunghezza d'ondulazione nel fascio incidente è un prisma rettangolare, le cui tre dimensioni sono λ nel senso al, $p = ap$ nel senso ap, ed una lunghezza qualunque c eguale alla larghezza del fascio nel senso perpendicolare al piano della figura; essendo dunque λpc questo volume, la massa corrispondente sarà $d\lambda pc$, e la forza viva $d\lambda pcu^2$ pel fascio incidente; per quello riflesso poi, la massa è la stessa, essendo che la perpendicolare $bp' = ap = p$; e finalmente pel fascio rifratto, la sola dimensione del prisma che resti la stessa, come per gli altri due fasci, è quella nel senso perpendicolare al piano della figura cioè c; e le altre due dimensioni sono λ' e $p' = bq$, onde la forza viva per questo fascio rifratto sara $d'\lambda' p'cv'^2$. Pertanto pel principio delle forze vive si avrà

$$d\lambda pcu^2 = d\lambda pcv^2 + d'\lambda' p'cv'^2,$$

oppure

$$d\lambda pca^2 = d\lambda pch^2 + d'\lambda' p'cr^2,$$

e quindi

$$\frac{a^2 - h^2}{r^2} = \frac{d'}{d} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda} \cdot \frac{p'}{p}.$$

Ma, ammettendo che l'elasticità dell'etere sia la stessa nello stesso mezzo, è necessario, secondo le leggi della Meccanica, che le densità sieno in ragione inversa de' quadrati delle

lunghezze d'ondulazioni, il che dà $\frac{d'}{d}=\frac{\lambda^2}{\lambda'^2}$;

dippiù si ha $\frac{\lambda'}{\lambda}=\frac{\text{sen}i'}{\text{sen}i}$, ed, in virtù dei due triangoli bap e baq, $\frac{p'}{p}=\frac{\cos i'}{\cos i}$; quindi risulta

$$\frac{a^2-h^2}{r^2}=\frac{\text{sen}i\cos i'}{\text{sen}i'\cos i};$$

e rimettendo per r il suo valore $a-h$, verrà

$$\frac{a+h}{a-h}=\frac{\text{sen}i\cos i'}{\text{sen}i'\cos i},$$

donde

$$\frac{h}{a}=\frac{\text{sen}(i-i')}{\text{sen}(i+i')},\text{ e quindi }\frac{r}{a}=\frac{2\cos i\,\text{sen}i'}{\text{sen}(i+i')};$$

e poichè le intensioni sono proporzionali ai quadrati de' coefficienti delle velocità, si ha finalmente

$$\frac{h^2}{a^2}=\frac{\text{sen}^2(i-i')}{\text{sen}^2(i+i')},\text{ ed }\frac{r^2}{a^2}=\frac{4\cos^2 i\,\text{sen}^2 i'}{\text{sen}^2(i+i')};$$

per le intensioni de' fasci riflesso e rifratto prese rispetto all' intensione del fascio incidente.

Quando le vibrazioni dell' onda incidente si eseguono nel piano d' incidenza, ed il piano di polarizzazione è per conseguenza perpendicolare ai piani d' incidenza e di riflessione, si ammette che ne' tre fasci le velocità di vibrazione son tali che si ha

$$u\cos i=v\cos i+v'\cos i'$$

oppure

$$(a-h')\cos i=r'\cos i'$$

ovvero

$$r'=(a-h')\frac{\cos i}{\cos i'},$$

dinotando, in questo caso, h' ed r' i coefficienti di velocità dell' onda riflessa e di quella rifratta; il che è lo stesso che dire, che la componente orizzontale della velocità di vibrazione nell' onda incidente è uguale alla somma delle componenti orizzontali della velocità di vibrazione delle onde riflesse e rifratta.

Essendo sempre

$$\frac{a^2-h'^2}{r'^2}=\frac{\text{sen}i\cos i'}{\text{sen}i'\cos i}$$

l' equazione delle forze vive, se vi si sostituisca per r' il suo valore, si avrà

$$\frac{a+h'}{a-h'}=\frac{\text{sen}i\cos i}{\text{sen}i'\cos i'};$$

donde si strae

$$\frac{h'}{a}=\frac{\tan(i-i')}{\tan(i+i')},\quad\frac{r'}{a}=\frac{2\cos i'\,\text{sen}i'}{\text{sen}(i+i')},$$

e per le ragioni d' intensioni de' fasci riflesso e rifratto a quelle del raggio incidente, si avrà

$$\frac{h'^2}{a^2}=\frac{\tan^2(i-i')}{\tan^2(i+i')},\quad\frac{r'^2}{a^2}=\frac{4\cos^2 i'\,\text{sen}^2 i'}{\text{sen}^2(i+i')},$$

Finalmente, se il piano di polarizzazione faccia un angolo θ col piano d' incidenza, si può scomporre la velocità di vibrazione in due altre, l' una perpendicolare al piano d' incidenza, espressa da $u\cos\theta$, e l' altra sullo stesso piano d' incidenza, ed espressa da $u\,\text{sen}\theta$. La prima fa evidentemente acquistare alla riflessione un' intensione $\frac{h^2}{a^2}\cos^2\theta$, e la seconda un' intensione $\frac{h'^2}{a^2}\text{sen}^2\theta$. Laonde, nel caso generale, l' intensione del fascio riflesso, rispetto a quella del fascio incidente, è espressa da

$$\cos^2\theta\frac{\text{sen}^2(i-i')}{\text{sen}^2(i+i')}+\text{sen}^2\theta\frac{\tan^2(i-i')}{\tan^2(i+i')}.$$

È questa appunto la formola da noi ammessa e discussa (453).

Mercè questi elementi costituenti del fascio riflesso, si può determinare eziandio l' angolo θ, che il piano di polarizzazione di questo fascio fa col piano d' incidenza. E per fermo, i coefficienti di velocità della porzione del fascio riflesso, che vibra perpendicolarmente al piano di riflessione, e di quella che vibra in questo stesso piano sono $\frac{h}{a}\cos\theta$ ed $\frac{h'}{a}\text{sen}\theta$. Queste due vibrazioni si compongono in una sola, la cui direzione forma col piano di riflesssione un angolo θ' tale che

$$\tan\theta'=\frac{h'}{a}\text{sen}\theta:\frac{h}{a}\cos\theta,$$

ovvero

$$\tan\theta'=\frac{h'}{h}\tan\theta=\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}\tan\theta.$$

Ed è questa la formola da noi ammessa e discussa al paragrafo 454.

LIBRO SETTIMO

DEL CALORICO

PARTE SECONDA

PROPAGAZIONE DEL CALORICO E CALORIMETRIA.

CAPO PRIMO (*)

PROPAGAZIONE DEL CALORICO.

§. I. *Fenomeni generali del calorico raggiante nell' aria e nel vuoto.*

470. *Dell' esistenza del calorico raggiante e dell' idea che de' raggi calorifici ci possiamo formare.* — Il calorico raggiante è quello che passa a traverso di alcuni corpi siccome la luce attraverso de' corpi diafani. Il calorico del sole arriva sulla terra dopo di avere attraversata l' atmosfera; e se l' aria durante un giorno sereno si scalda, ognun sa che si scaldano anche i corpi, e che generalmente la temperatura di questi è più alta di quella dell' aria. Una parte dunque di calor solare attraversa come la luce tutta la profondità dell'atmosfera, senza esserne assorbita. Il fuoco in simil guisa ci riscalda da una certa distanza, senza che l' aria intermedia sia riscaldata di falda in falda, imperciocchè è agevole l'osservare che queste falde restan fredde, e che possono essere anche agitate ed in breve tempo rinnovate, senza che se ne risenta il minimo effetto, se la distanza è tuttavia la stessa. Una sfera di metallo rovente sospesa in una stanza, è ancor più acconcia a rendere aperto cotesto fenomeno: da qualunque parte intorno ad essa ricevesi una certa sensazione di caldo, nell' atto che l' aria circostante, che non la tocca, conserva quasi interamente la sua quiete e la sua temperatura primitiva. Laonde i corpi che son riscaldati fino all' incandescenza, hanno nello stesso tempo un potere *emissivo*, hanno cioè la proprietà di spandere intorno ad essi per ogni verso il calorico che attraversa l' aria, siccome la luce i mezzi diafani. E però seguendo questa analogia, discorrendo del calorico, parliamo di *raggi calorifici*, di *raggi di calorico*, o di *raggi di calore*, siccome discorrendo della luce parlammo di *raggi luminosi* o di *raggi di luce*.

471. *Potere emissivo.* — Il potere emissivo, o il *potere raggiante* di cui si è detto dianzi, non si trova solo ne' corpi caldi a segno da spandere nello stesso tempo luce e calorico; ma, siccome dimostreremo, appartiene indistintamente a tutti i corpi; può scemare scemando la temperatura, ma non può finire di esistere; si osserva in una palla di metallo raffreddata fino al punto di non esser più visibile nelle tenebre del pari che in un'altra incandescente, nell' acqua alla temperatura ordinaria del pari che nell' acqua bollente, nel ghiac-

(*) Il Cav. Melloni, che corredò di note le precedenti edizioni di questo capo, ha gentilmente accettato l'incarico di rivederle e d' introdurvi quelle modificazioni ed aggiunte necessarie per recarle a livello del complesso delle nozioni teoriche e sperimentali da lui esposte nel suo trattato di calorico raggiante, che si sta ora pubblicando in Napoli in lingua francese sotto il titolo *La Thermochrôse, ou la coloration calorifique*.

cio, nel mercurio gelato, e da ultimo in tutti i corpi per quanto freddi essi sieno. Donde segue, che ogni corpo per riguardo al calorico è come la fiamma di una candela rispetto alla luce; da tutti i punti della fiamma partono dei raggi luminosi che si spandono a distanza nello spazio, siccome da ciascun punto di qualsiasi corpo caldo o freddo partono continuamente raggi di calorico che attraversano l'aria, e si propagan liberamente fino a che non s' imbattano in qualche corpo che gli arresti.

Per rendere aperta questa continua azione del potere emissivo, dispongonsi l' un contro l'altro, alla distanza di cinque o sei metri, due grandi specchi sferici o parabolici di ottone levigato, in guisa che i loro assi coincidano (*fig.* 342); nel fuoco del primo ponsi una palla metallica riscaldata sino all' incandescenza, oppure del carbone acceso, ravvivandone la combustione con un mantice; nel fuoco del secondo specchio ponsi un pezzo d' esca, ed in meno di un minuto questa si accenderà come se avesse toccato il fuoco. Siffatto esperimento prova a chiare note il potere emissivo del corpo incandescente che trovasi nel fuoco del primo specchio, imperciocchè le condizioni dell' esperienza non permettono affatto il supporre, che l' aria riscaldata di falda in falda venga ad accendere l' esca.

Se in vece della palla incandescente se ne adoperi una riscaldata solo fino a 300°, ed invece dell' esca si ponga un termometro ordinario, questo si vedrà rapidamente ascendere; alla temperatura di 300° adunque la palla ha tuttavia un potere emissivo.

Ora se alla palla riscaldata sino a 300° sostituiscasi un vaso pieno di acqua bollente, oppure di acqua a 90°, 80° o 70°, sarà possibile che il termometro focale del secondo specchio non mostri alcuna sensibile elevazione di temperatura: questo per altro non prova, che a tale temperatura le pareti del vase non abbiano più un potere emissivo, ma solo che in queste congiunture il termometro ordinario non ha bastante sensibilità per renderne aperti gli effetti. Allora sarà mestieri ricorrere a termometri più delicati, sia a quello ad aria, rappresentato nella figura 343, sia al termoscopio di Rumford (*fig.* 345), sia al termometro differenziale di Leslie (*fig.* 344), sia al termomoltiplicatore del Melloni (*fig.* 346, e 347). Poche parole basteranne per fare intendere l' uso di questi strumenti.

Il termometro ad aria è una semplice pallina di tre o quattro centimetri soffiata all' estremo di un cannello di circa un millimetro di diametro: questo cannello è curvato, ed ha un enfiamento nella sua curvatura ed un imbuto al suo estremo, affinchè il liquido *cd* non possa nè ricadere nella pallina, nè uscirsene da sopra. Quando le sue dimensioni son conosciute, egli è facile valutarne la sensibilità mercè le leggi della dilatazione dell' aria, ma intendesi ch' egli è impossibile di graduarlo, imperciocchè il liquido resta soggetto alla pressione atmosferica, e permette all' aria di uscire, e di entrare.

Il termoscopio di Rumford è composto di due sfere vuote *a* e *b* congiunte da un tubo ricurvo, la cui parte orizzontale è lunga tre in quattro decimetri. L' indice *cd* d' alcool o d' acido solforico riceve le pressioni opposte dell' aria dei due recipienti, e cammina sintantochè queste pressioni non si rendano eguali; il punto ove si ferma, in virtù di una perfetta eguaglianza di temperatura e di pressione, è lo zero dello strumento, e lo spazio che percorre da una parte o dall' altra è presso a poco proporzionale alla differenza di temperatura delle due sfere. Questi moti dell' indice sono generalmente espressi per divisioni arbitrarie; ma egli sarebbe agevole di estimarle in gradi centigradi, tanto per esperienza, ponendo due vasi intorno alle sfere, uno ordinato a ricevere il ghiaccio in fusione, l'altro l'acqua ad 1 o 2°, quanto pel calcolo, mercè le dimensioni dello strumento e del coefficiente di dilatazione dei gas.

Il termometro differenziale di Leslie si adagia sullo stesso principio, se non che le due sfere ed il tubo sono generalmente più piccoli, le branche verticali sono più lunghe e più avvicinate, e la colonna liquida *cd* d'ordinario prende origine in una delle due sfere ed estendesi fino alla metà della branca verticale dell'altra: questo si può come l' antecedente graduare.

Il termo-moltiplicare del Melloni è composto di una pila termo-elettrica analoga a quella da noi descritta (vol. 1°, § 264, *fig.* 459 e 460), e di un sensibilissimo moltiplicatore. La pila *p* diligentemente annerrita ai due estremi col nerofumo va messa sopra un piede (*fig.* 346), e dev' essere difesa dalle correnti d' aria e dalle irradiazioni laterali mercè un astuccio *a* o *b*; questo fa anche da riflettitore per concentrare sulla pila maggior quantità di raggi caloriflci. Il galvanometro o moltiplicatore è rappresentato nella figura 347; il filo di rame involto di seta ond'è composto, ha il diametro di circa due terzi di millimetro, ed è lungo 27 in 28 metri; esso fa sul telajo di metallo quaranta giri che sono simmetricamente ordinati dall'una e dall'altra parte della linea media sopra una larghezza di 4 centimetri. Gli aghi bene scelti,

calamitati e compensati con diligenza, sono legati tra loro nel modo espresso della figura 317 *bis*: essi son sospesi con un fil di bozzolo alla cima di una campana *c*, mercè l'ingegnoso meccanismo *d*, per cui possonsi innalzare o abbassare a piacimento voltando il bottone *f* (*fig.* 317). Gli estremi del filo del moltiplicatore corrispondono ai due buchi *m*, *n*. Dopo di aver collocato lo strumento sopra un sostegno solido sicuro da qualunque vibrazione; dopo di averlo livellato affinchè il filo di sospensione passi per lo centro del cerchio graduato, e dopo di averlo diretto nel meridiano degli aghi, non si deve far altro se non che metterlo in comunicazione colla pila, il che si fa agevolmente, mercè de' fili avvolti a spire *g* ed *h*, i cui estremi piuoli si cacciano ne' buchi *x*,*y* della pila ed *m*,*n* del moltiplicatore. Allora la più piccola differenza di temperatura tra le due estremità annerite della pila si rivela per un deviamento degli aghi che osservasi sul cerchio graduato.

Qui è mestieri distinguere il *deviamento impulsivo* ed il *deviamento definitivo*, cioè il maggior deviamento che l'ago riceve mercè il primo moto d'impulso, e quello in cui si arresta dopo una serie di oscillazioni. Il cav. Melloni ha con moltissimo ingegno trovato le ragioni costanti che passano tra essi, mercè le quali si può ricavare l'uno dall'altro, quando siasi antecedentemente fatta una tavola di queste ragioni per ciascuno strumento. Donde segue una utilità grandissima, imperciocchè osservando i deviamenti impulsivi un'esperienza dura 10 o 12", nell'atto che essa dovrebbe durare parecchi minuti se fosse mestieri aspettare l'equilibrio. La ragione che passa poi tra il deviamento definitivo e la differenza di temperatura delle saldature della pila si può anche agevolmente ottenere, se non in un modo assoluto, almeno in un modo relativo; imperciocchè, siccome il Melloni, per via di sperienze analoghe a quelle da noi indicate (t. 9 §. 261), si è renduto certo che nelle pile di bismuto ed antimonio l'energia della corrente è proporzionale alla differenza di temperatura delle saldature, la quistione riducesi a cercare la ragione che passa tra le intensioni della corrente ed i deviamenti dell'ago: per la qual cosa il cav. Melloni prende due sorgenti costanti di calorico, per esempio due lucerne di Locatelli; le dispone sull'asse della pila, l'una a destra e l'altra a sinistra, e le fa operare separatamente, togliendo o mettendo di nuovo i piani opachi che arrestano l'azione calorifica. Le distanze sono scelte in modo che l'una dia per esempio 40° di deviamento a destra e l'altra 35° a sinistra: ciò assicurato si fanno operare nello stesso tempo e si hanno 15° di deviamento a destra; 15° dunque partendo da 0° equivalgono a 5° compresi tra 35° e 40°. Ognuno comprende, che variando siffatte sperienze è facile di compilare una tavola a due colonne, la prima delle quali esprima i deviamenti definitivi osservati, e la seconda i gradi di deviamento che si osserverebbero se l'allontanamento dell'ago non indebolisse l'azione ch'esso riceve dalla corrente. Negli apparecchi del Melloni le due colonne di questa tavola coincidevano fino a 20°, vale a dire che fino a questo punto l'intensione era proporzionale al deviamento, ma per 25, 30, 35, 40 e 45° di deviamenti osservati, la seconda colonna della tavola dà 27, 35, 47, 62 ed 83°. Intanto per via d'ingegnosi artifici il Melloni ha generalmente ridotte tutte le sue esperienze in modo da avere deviamenti sempre minori di 30° (*a*).

(*a*) Posteriormente trovammo un altro metodo per determinare i rapporti tra le azioni calorifiche e le indicazioni dello strumento. Questo secondo metodo, che è forse più semplice, e certamente di un uso più facile e pronto di quello descritto dal Pouillet, fondasi sul noto principio che quando una corrente elettrica mette capo a due fili metallici essa dividesi in due porzioni eguali, se eguale è la natura, la lunghezza, o la grossezza d'ambi i fili, diverse nel caso della disuguaglianza; e sempre proporzionali alla resistenza elettrica dei due conduttori.

Immaginiamo pertanto un filo di rame dello stesse dimensioni di quello avvolto intorno al telaio del termo-moltiplicatore, e l'indice dello strumento mantenuto a 12° in virtù del calore di una lucerna irradiante sulla pila; mettendo i capi del *filo di derivazione* in comunicazione colle estremità del galvanometro, l'ago magnetico scende a 6°. Se invece d'essere uguale, il filo di derivazione è due volte, tre volte meno lungo del filo galvanometrico, allora si vede l'ago scendere a 4°, a 3°; ec. Queste indicazioni dello strumento mostrano due cose: 1°, che nei termomoltiplicatori di buona costruzione la corrente elettrica eccitata dal calore nella pila termoscopica passa tutta pel galvanometro: 2°, che nei primi gradi del quadrante galvanometrico gli archi sono proporzionali alle forze di deviazione. Fermato ciò, s'intenderà di leggieri come si debba procedere onde trovare i rapporti cercati per qualunque indicazione dello strumento. Supponiamo, che si voglia avere il valore della forza corrispondente a 30°, rappresentando sempre coll'unità la forza necessaria all'indice per descrivere uno dei primi gradi del quadrante: s'avvicinerà più o meno la lucerna onde comunicare allo strumento la deviazione stabile di 30°; e mediante il filo di derivazione si sottrarrà una porzione della corrente e si scemerà la deviazione dell'ago, ri-

Ei sarebbe difficile di valutare direttamente sull' apparecchio a qual differenza di temperatura corrisponda il deviamento di un mezzo grado che si può osservare comodamente; ma vi si giungerebbe con facilità mediante il calcolo, formando una pila i cui elementi di conosciuta dimensione fossero lunghi bastantemente, affinchè le saldature potessero esser mantenute a temperature fisse, osservate con buoni termometri. E per questo basterebbe applicare i principi da noi dichiarati (*t. I. cap. VI. El. Magn.*) sulle intensioni delle correnti. (*b*)

Se riprenderemo ora l'esperienza degli spec-

ducendola entro i limiti ove le forze sono proporzionali agli archi. S' immagini per esempio che il filo di derivazione avendo una lunghezza uguale al terzo del filo galvanometrico, la sua interposizione faccia scendere l' indice a 12° : in tal caso la forza corrispondente a 30° sarebbe evidentemente 36.

Siffatta operazione ripetuta di cinque in cinque gradi somministrerà le forze appartenenti ai principali punti del quadrante. I valori relativi ai punti intermedii si determineranno, o colle formole d'interpolazione, o colla enstruzione grafica.

Noi abbiam supposto per maggior semplicità che la lunghezza del *filo di derivazione* sia un multiplo esatto dalla lunghezza del filo galvanometrico: abbiamo supposto inoltre che la corrente elettrica sviluppata nella pila termoscopica passi tutta nel galvanometro, ma queste condizioni non sono necessarie nell'applicazione per determinare le relazioni tra le deviazioni dell'indice e le forze corrispondenti. E veramente s'allontani la sorgente calorifica per modo che l' indice stia per esempio a 12° in virtù dell' irradiazione vibrata sulla pila termoscopica. Si pigli un filo di qualunque dimensione, e fissata una delle sue estremità ad uno dei capi del galvanometro si compia coll' altro il circuito secondario: e si vada poi a mano a mano raccorciando questo circuito finchè l' indice scemi di due o tre quarti dell' angolo segnato, e scenda pertanto a 3°: egli è manifesto che ripetendo l' esperienza *con questa medesima lunghezza di filo*, nelle varie posizioni dell' indice si avranno i rapporti cercati. Immaginiamo a cagion d'esempio, che l'indice spinto a 8°.dia 2° per l'applicazione del filo di deviazione, e 1° trovandosi a 4°; se ne dedurrà che nello strumento sottoposto all' esperienza, le forze sono proporzionali agli archi per tutta l' estensione dei 12 primi gradi. Se ora per 15 di deviazione l' applicazione del filo di deviazione facesse scender l' ago a 4°; per 20° a 5°, 5; per 25° a 7°; per 30° a 9°; per 35° a 10°,5: le forze corrispondenti agli archi di 15°, 20°, 25°, 30°, e 35°, sarebbero evidentemente 16, 22, 28, 36, e 42.

Prendendo poi i gradi del quadrante per ascisse e le forze per ordinate si avrebbero colla massima facilità i valori di tutti i punti intermedii.

(*b*). Becquerel fu il primo che immaginò di dedurre le gradazioni del calore dalle correnti termo-elettriche: egli voleva servirsi di questo nuovo artifizio per la misura delle temperature elevatissime, ed impiegava pertanto dei fili di platino e di rodio, metalli capaci di sopportare senza fondersi l' azione dell' incandescenza (*Ann. de Chim. et de Phys.* T. XXXI. p. 371).

Venne poi il Nobili, che per misurare le più leggiere differenze tra il calor proprio dei corpi propose una pila termo-elettrica destinata a surrogare il termometro di contatto del Fourier. La pila del Nobili era composta di pochi e grossi elementi di bismuto ed antimonio, contenuti in una scatola di legno piena di mastice, per modo che una delle facce emergeva dalla detta materia isolante, e l'altra vi rimaneva compiutamente immersa.

Adottando lo stesso principio del Becquerel e del Nobili noi avemmo per iscopo, non già di misurare le temperature dei corpi, ma di confrontare tra loro i vari gradi d' energia delle radiazioni calorifiche. I metalli da noi impiegati nella costruzione della pila furono quelli stessi adoperati dal Nobili, cioè bismuto ed antimonio, perchè i più sensibili all' eccitamento dell' azione termo-elettrica; ma ne rendemmo gli elementi perfettamente simmetrici alle due estremità, più sottili di molto e più copiosi, essendoci accorti, prima d' ogni altro se mal non ci apponiamo, che *l' energia delle correnti elettriche circolanti nella pila e nel moltiplicatore, cresceva, sino ad un certo segno, quando si diminuiva la grossezza degli elementi, e se ne aumentava il numero*: per cui non v' era compenso tra la forza aggiunta dalle nuove coppie, e la perdita cagionata dalla loro resistenza alla libera circolazione del fluido elettrico, come si credeva allora generalmente dai fisici che conoscevano le sole sperienze istituite a tale oggetto da Fourier ed Œrsted, ed ignoravano i lavori posteriori di Ohm e Pouillet sulle leggi della elettricità dinamica. Interponemmo poi tra l' una e l' altra spranghetta metallica delle striscioline di carta che trovammo sufficienti all' isolamento, e dopo di aver ben annerite le due facce uguali della pila, la circondammo con un inviluppo cilindrico di ottone foderato internamente di carta ed aperto alle due estremità, cui apponemmo dei tubetti o dei riflettori conici dello stesso metallo, secondo che trattavasi di esplorare un fascio più o meno ampio di raggi calorifici. Questa nuova disposizione, tramutando per così dire il *termoscopio di contatto* del Nobili in un *termoscopio d' irradiazione*, sottrasse nel medesimo tempo la pila termo-elettrica alle variazioni della temperatura atmosferica, ed alle perturbazioni cagionate dal calor proprio dei corpi circostanti; e ridusse a pochi minuti le ore intere che l' indice dello strumento del Nobili impiegava talora a ripigliare la sua posizione iniziale, dopo di aver patita l' azione della sorgente calorifica. Non parliamo della sensibilità che venne talmente accresciuta; da manifestare ad una distanza notabilissima quelle impressioni medesime che nella pila del Nobili volevano il contatto.

Abbiamo richiamato qui brevemente i cambiamenti da noi introdotti nella costruzione del termomoltiplicatore, perchè quantunque il Nobili li abbia scrupolosamente descritti in una sua memoria (*Bibliot. Univ.* di Ginevra T. XLIV. p. 233) e stimati di tanta importanza da credersi in obbligo di aggiungere il nostro al suo nome nella presentazione di questo strumento da noi fatta in comune all'I-

chi mettendo nel fuoco del secondo di questi uno degli strumenti di sopra descritti, e nel fuoco dell' altro un qualsivoglia corpo di uno o due decimetri di estensione, non dureremo

stituto di Francia. (Vedi *Ann. de Chim.* T. XXXXVIII p. 198) alcuni autori recenti ignorano o mostrano d' ignorare queste cose, e van ripetendo nei loro trattati, il termo-moltiplicatore da noi adoperato essere interamente dovuto al Nobili. Per convincere poi il lettore che l' opinione dell' illustre fisico intorno all' importanza delle modificazioni da noi arrecate al termo-moltiplicatore non era punto illusoria, ma fondata sul vero, basterà soggiungere che la nuova pila è stata finora la sola impiegata con successo nelle ricerche eseguite mediante il termo moltiplicatore; quella del Nobili rimase sterile, ed oramai abbandonata dai fisici; come rimasero del pari sterili e neglette due altre maniere di pile termo-elettriche *che il Nobili propose dopo la nostra per lo studio delle radiazioni calorifiche* (*Bibl. Univ.* T. LVII): il principal difetto di queste pile si era la mancanza di simmetria alle due estremità degli elementi che costituiscono le facce opposte dello strumento; per cui un aumento o una diminuzione nella temperatura dell' aria, operando sovra di esse con ineguale energia, introduceva necessariamente una perturbazione nell' effetto dovuto ai raggi calorifici sottoposti all' esperienza: e toglieva così al termo-moltiplicatore una delle sue più belle prerogative, di essere, cioè, insensibile alle variazioni termometriche del mezzo ambiente.

Dalle ultime espressioni del Pouillet sembra risultarne, che non si possono valutare nel termo-moltiplicatore le frazioni inferiori al mezzo grado; e però non sarà inutile il soggiungere di passaggio, che nello stato di perfezione cui lo strumento è salito oggidì per le tante cure e l' abilità somma dell' egregio fabbricante Ruhmkorff, i quarti di grado vi si distinguono immediatamente da chicchessia, e che anzi le persone avvezze a questo genere di osservazioni pervengono a rilevare persino la decima parte di esso grado. Aggiungasi che tanta si è la dolcezza e la regolarità con cui l'ago indicatore compie le sue deviazioni, da fornire tutto il comodo e l' opportunità necessari a scorgere e seguire le più piccole minuzie dello spazio percorso coll' aiuto di una lente o di un cannocchiale: e questo solo basterebbe a rendere il termo-moltiplicatore immensamente superiore al termoscopio del Rumford ed al termometro metallico del Breguet, i cui indici camminano sì capricciosamente, con tanti sbalzi e regressi, da rendere al tutto superflue le suddivisioni della scala.

Il termo-moltiplicatore vince certamente in sensibilità qualunque altro termoscopio. Per addurne alcune prove ricorderemo che, munito della sua appendice conica, questo strumento sente il calore del corpo umano a 30 e più piedi di distanza, e segna quelle differenze di temperatura insensibili al contatto del termometro, che regnano quasi sempre tra le pareti d' una stanza per ampia che ella sia, senza smuoverlo dalla propria posizione, col che rivolgasi successivamente contro le varie pareti la faccia attiva della pila.

Quanto alla quistione della proporzionalità tra le indicazioni del termo-moltiplicatore e quelle del termometro ordinario, dessa fu posta fuor di ogni dubbio con diverse serie di sperienze da noi fatte in presenza di una commissione della R. Accademia delle Scienze di Parigi, componevasi di tre dei più celebri fisici e matematici del secolo, Arago, Biot, e Poisson. Chi bramasse conoscere o ripetere tali sperienze legga il Tomo XIV degli Atti della prefata Accademia, (oppure gli *Ann. de Chim. et de Phys.* di Gay-Lussac, e Arago Tom. CLXI p. 8) ed abbia presente che due o tre gradi del termometro centigrado, e tutt' al più cinque o sei nel termo-moltiplicatori poco sensibili, sono sufficienti a cacciar l' indice dello strumento dall' una all' altra estremità della scala: per cui non vale l' obbiezione di alcuni fisici i quali sostengono che una deviazione dalla legge di proporzionalità tra le forze delle correnti termo-elettriche e le temperature incominci a manifestarsi fra i limiti della scala termometrica. A costoro si potrebbe opporre l'opinione contraria del Becquerel e del Nobili. Ma senza pretendere di decidere quale delle due posizioni sia la vera, a noi basta l'aver mostrato, che nel caso delle correnti elettriche eccitate dal calore nel bismuto a contatto coll'antimonio, la proporzionalità regge per le temperature differenziali cui sono dovute tutte le indicazioni del termo-moltiplicatore.

Lasciamo ora giudicare al lettore imparziale se, oltre i cambiamenti essenziali da noi introdotti nella prima pila termoscopica del Nobili, la dimostrazione di questo fatto e dei metodi soprascritti (§ 471) onde determinare i rapporti tra le deviazioni dell'indice e le forze corrispondenti, bastano o no, per giustificare i diritti che crediamo avere sull' invenzione e l'uso dell'unico termomoltiplicatore adoperato oggidì sì utilmente dai fisici in qualunque ricerca relativa al calorico raggiante.

Egli è poi manifesto che il valore assoluto delle indicazioni del termomoltiplicatore deve dipendere dalla perfezione più o men grande della sua costruzione; se ne trovano difatti alcuni il cui primo grado della scala equivale ad $\frac{1}{500}$ di grado del termometro centigrado, altri ad $\frac{1}{1000}$ circa, per cui la media riducesi a $\frac{1}{700}$, o in quel torno. Questo rapporto è affatto inutile a conoscersi quando si tratta di applicare il termomoltiplicatore allo studio dei raggi calorifici, perchè le proprietà delle radiazioni si mantengono uguali a qualunque distanza dalla sorgente del calore: laonde, tanto l' osservatore che opera vicino per la poca sensibilità del suo strumento, quanto quello che stà lontano per la cagione opposta, trovano nei raggi le medesime proprietà; la sola forza, o vogliam dire densità della radiazione varia in queste due circostanze; la qualità degli elementi rimane inalterata.

La somma sensibilità del termomoltiplicatore è tuttavia preziosissima quando trattasi d' indagare le diverse modificazioni acquistate dai raggi nel loro contatto colla materia ponderabile; poichè questa si riscalda sotto l' azione del calor incidente; ed è quindi mestieri eliminare ad una certa distanza i raggi della sorgente calorifica modificati

riceva egualmente da ogni parte, che tutto in fine si cambi ad ogni momento, e che il calorico sia continuamente in moto e la temperatura continuamente in equilibrio. Questa seconda ipotesi, annunziata la prima volta da Prevost di Ginevra, costituisce il così detto *principio dell' equilibrio mobile del calorico*; siffatto principio rigorosamente definito e generalizzato da Fourier è diventato tra le sue mani il punto di partenza di tutta la teorica matematica del calore. Nelle opere di Fourier di Laplace e di Poisson è mestieri vedere quale è la sfera e l'estensione di questa bella teorica, di cui i geometri del passato secolo non aveano neppure supposta l'esistenza. Procureremo di riferirne qui i principî fondamentali appoggiandoli solo sopra elementari considerazioni.

475. *Principio della ragione inversa dei quadrati delle distanze.* — Se immaginiamo un corpo sferico entro un recipiente parimente sferico, egli è chiaro che le pareti del recipiente riceveranno tutto il calorico emesso dal corpo, e questo vi si troverà uniformemente distribuito, supponendo l'emissione uniforme in tutt' i punti del corpo; ma se il raggio del recipiente sferico diventa doppio, la sua superficie diventerà quadrupla, e poichè la quantità di calorico che riceve resta la stessa, ne segue che ogni centimetro quadrato ne riceverà quattro volte meno: se il raggio del recipiente diventa triplo, la sua superficie diventerà nove volte maggiore, ed ogni centimetro quadrato ne riceverà un nono, ec. Laonde l'intensione del calorico scema in ragion che cresce il quadrato della distanza (c); ma questa legge è solo rigorosamente vera nel caso particolare da noi preso in considerazione, o in tutti quelli che al medesimo si possono ridurre: così, per esempio, dovrebbe badarsi di non applicarla al caso di due superficie piane alquanto estese, poste di rincontro e computando le distanze da queste stesse superficie.

476. *Principio di eguaglianza di temperatura in tutt' i punti di un recipiente vuoto, le cui pareti sian mantenute ad una temperatura costante.* — Sia r' il raggio del recipiente sferico (*fig.* 348), s' la sua superficie, e' la quantità di calorico emesso dall' unità di superficie nell' unità di tempo: sia r il raggio di un corpo sferico sospeso nel centro del recipiente, s la sua superficie, e la quantità di calorico emessa dall' unità di superficie nell' unità di tempo. Supponghiamo che il recipiente ed il corpo abbiano un assorbimento totale, ovvero un potere riflettente nullo, ed esprimiamo con ω la metà dell'angolo visuale sotto cui il corpo sarebbe veduto da un punto qualunque del recipiente. La quantità totale

(c) Quantunque la legge inversa del quadrato delle distanze risulti chiaramente da questi principii teorici, alcuni fisici la negarono e segnatamente il Leslie che pretese poter conchiudere da alcune sue sperienze l'energia della radiazione variare nella semplice ragione inversa delle distanze. Per mostrare l'errore di siffatta conclusione prendemmo due vasi cubici di metallo anneriti esternamente i cui lati stavano nella ragione di 1 : 2, e postili uno dirimpetto all' altro, ad una distanza di tre o quattro piedi, li riempimmo d' acqua che mantenemmo in uno stato di dolce ebollizione, mediante due fiammelle riparate dietro alcune lamine metalliche. S' introdusse poi fra i due cubi un termoscopio di Rumford, disponendo le palle in guisa che si trovassero ambedue sulla retta che congiungeva i centri delle opposte pareti; e tolte le doppie comunicazioni, mediante un diaframma interposto tra le palle termoscopiche, s' accostò dolcemente, or l' una, or l' altra palla, al vaso corrispondente, sintantochè la distanza tra il maggior recipiente e la palla più vicina fosse doppia di quella interposta tra la seconda palla ed il picciol recipiente. Allora le due palle del termoscopio vennero sottratte alle radiazioni delle sorgenti mediante due lamine metalliche; si notò la posizione d' equilibrio che assumeva diffinitivamente l'indice dello strumento, e si tolsero di bel nuovo le lamine interposte; l' indice rimase stazionario: dunque la quantità di calore ricevuta dalla palla che stava esposta alla parete del vaso piccolo era perfettamente uguale a quella che mandava sull' altra il vaso grande: ma la superficie di questo era quadrupla, e la distanza doppia: dunque l' unità della superficie radiante allontanata del doppio non mandava più che un quarto del calor primitivo, cioè a dire, che le quantità di calore vibrate da ogni unità di superficie dei due vasi pieni d' acqua bollente sulle rispettive palle termoscopiche, erano precisamente in ragione inversa dei quadrati delle distanze. (*Bibl. Univ. di Ginevra, Febb. 1838 p. 371*).

Si può avere una dimostrazione molto più semplice e precisa di questa legge volgendo l' apertura del termomoltiplicatore contro un recipiente pieno d' acqua calda, o contro la semplice parete d' una stanza nella quale l' aria sia di alcuni gradi inferiore ai muri; poichè allora l' indice dello strumento assume una certa deviazione che si mantiene perfettamente invariabile, quando si cambia la distanza frapposta tra il muro ed il corpo termoscopico. Le diverse porzioni, più o meno estese, della superficie calda che, nel variare della distanza possono entrare in comunicazione raggiante o rettilinea con un dato punto del corpo termoscopico, vi producono pertanto lo stesso grado di riscaldamento. Ma queste posizioni sono proporzionali ai quadrati delle distanze: dunque l' energia della radiazione calorifica sta nella ragione inversa di questi quadrati; conseguenza importantissima; donde risulta e l' esattezza delle misure de' raggi di calore indicate da' nostri strumenti, e la nullità d' assorbimento dello strato d' aria interposto fra la sorgente raggiante ed il corpo termoscopico (*Thermochrose*, Vol. 1 pag. 120 e seg.): dunque

di calorico perduto dal corpo nell'unità di tempo sarà es; e se dicasi e'' la porzione di calorico ricevuta ed assorbita dall' unità di superficie del recipiente, si avrà evidentemente $es = e''s'$: donde

$$e'' = e\frac{s}{s'} = e\frac{r^2}{r'^2} = e \text{ sen}^2 \omega.$$

Ora da ciascun elemento z il corpo riceve una certa frazione b della quantità totale e' emessa da questo elemento, ed in somma esso riceve $be's'$; supponendo fermato l'equilibrio, la quantità rcevuta sarà eguale alla perduta, il che dà $es = be's'$: donde

$$be' = e\frac{s}{s'} = e\frac{r^2}{r'^2} = e \text{ sen}^2 \omega = e'',$$

cioè, che l'intero corpo riceve allora da ogni unità di superficie del recipiente una quantità di calorico be', che è eguale alla quantità e'' da esso inviata, o in altri termini, l'equilibrio esiste individualmente per ciascun elemento del recipiente.

Ma supponendo che il raggio del recipiente divenga via via maggiore, e'' diminuirà in ragione del quadrato di questo raggio; accadrà dunque lo stesso a be'; e siccome b è soggetto alla stessa legge di diminuzione, così e' dovrà rimanere costante. Donde segue, che *senza cambiare l' equilibrio* alcune porzioni dello spazio del recipiente possono allontanarsi ed altre avvicinarsi, oppure ciò che torna lo stesso, che il corpo può in qualunque modo cambiar sito nel recipiente. Quando dunque l'equilibrio è fermato, le temperature del corpo e del recipiente non debbon punto variare, mentre il corpo ed il recipiente si spostano e cambian forma ad arbitrio.

È mestieri di più che siffatte temperature sieno eguali, imperciocchè supponendo che il recipiente si avvicini moltissimo al corpo, si avrà ad un tempo $b=1$, e $\text{sen}^2 \omega = 1$, e per conseguenza $e' = e$. Or le quantità di calorico emesso essendo, siccome abbiam veduto, indipendenti dalle rispettive grandezze del corpo e del recipiente, l'eguagliamza presente deve estendersi a tutti i casi, e si avrà sempre $e' = e$, e però $b = \text{sen}^2 \omega$. Ma trattandosi di superficie identiche spogliate di potere riflettente, l'eguaglianza delle quantità di calorico emesse porta seco evidentemente quella delle temperature; dunque per l'equilibrio, il corpo ed il recipiente debbono avere eguali temperature.

Quando si tiene a calcolo il potere riflettente delle superficie, si perviene eziandio agli stessi risultamenti; ma la dimostrazione non è più elementare: del resto l'esperienza conferma perfettamente questo principio in tutti casi.

476. *Legge del coseno.*—L'intensione de' raggi del calorico è proporzionale al coseno dell' angolo che questi raggi fanno con la perpendicolare elevata all'elemento raggiante. Si vede infatti (*fig.* 348) che l' elemento z del recipiente emettendo una quantità di calorico e', il globo ne riceve una frazione be', ovvero $e'\text{sen}^2\omega$: se esso fosse veduto dall'elemento z sotto un angolo alquanto più grande ω', esso ne riceverebbe $e'\text{sen}^2\omega$; laonde la quantità di calorico emessa nell' intera zona compresa tra ω ed ω', è $e'(\text{sen}^2\omega' - \text{sen}^2\omega)$; la superficie di questa zona essendo poi $2\pi(\cos\omega - \cos\omega')$, la quantità di calorico emessa dall' unità di superficie sarà $\frac{e'}{2\pi}(\cos\omega + \cos\omega')$, ovvero $\frac{e}{\pi}\cos\omega$, supponendo ω' poco diverso da ω; essa in conseguenza è proporzionale al coseno dell' angolo ω.

Da tutto ciò segue, che la quantità di calorico emessa obbliquamente da una superficie è eguale a quella, che sarebbe emessa perpendicolarmente alla sua projezione, o viceversa; e questo è anche rifermato dall'esperienza siccome ce ne possiamo render certi mediante uno specchio nel foco del quale pongasi un termometro differenziale, ovvero, senza far uso dello specchio, giovandoci del termomoltiplicatore: e per questo prendesi, per esempio, un cubo pieno di acqua calda, ponesi col suo centro sulla direzione dell' asse della pila, ed innanzi ad esso un piano con un foro più piccolo della faccia del cubo: l'istrumento allora indica lo stesso effetto, tanto se la faccia raggiante del cubo trovisi obbliqua, quanto se trovisi perpendicolare all' asse della pila (*d*).

478. *Legge della riflessione.* — Il calorico

(*d*) L'esperienza riesce anche più graziosa e concludente rimovendo affatto il piano pertugiato e adattando ad angolo retto verticale l' asta della pila a capo di un regolo orizzontale lungo otto o dieci pollici, il quale regolo giri coll' altra sua estremità intorno ad un perno piantato nella tavola dove sta disposto ad una certa altezza il cubo di metallo *esternamente coperto di negrofumo*, e precisamente nella projezione della verticale che divide per mezzo la superficie raggiante. Allora, se la parete anteriore del cubo è sufficientemente ampia e l' altezza della pila tale che il suo asse prolungato vada a ferire il centro di essa parete, si vede l' indice dello strumento assumere una deviazione, che rimane costante sotto qualunque inclinazione del regolo e della pila rispetto al cubo, per cui, *tanto nel caso della massima obbliquità, quanto nel caso ove l'asse della pila è normale alla superficie raggiante, la pila, situata nel fondo del suo tubo riceve sempre la stessa quantità di calore.*

si riflette come la luce, facendo l'angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza. Questa proposizione è dimostrata dall'esperienza degli specchi; osservando che i fuochi del calorico coincidono con quelli della luce; ma si può anche direttamente dimostrarla col termomoltiplicatore disponendo convenientemente dei piani opachi e delle superficie di riflessione.

479. *Velocità del calorico.* — La velocità del calorico sembra somigliare quella della luce; se ne può giudicare dal modo istantaneo con cui è indicato dal termo-moltiplicatore, come prima si toglie il diaframma che lo impediva. (e) Ma cotesta somiglianza è meglio indicata dalla rifrazione del calorico di cui tra poco discorreremmo.

480. *Paragone de' poteri emissivi, assorbenti, e riflettenti di varie sostanze* — Quando un corpo trovasi in un recipiente in equilibrio di temperatura, il suo potere emissivo è chiaro essere eguale al suo potere assorbente, o in altri termini, ciò che perde per emissione è uguale a ciò che riceve per assorbimento, imperocchè se così non fosse la sua temperatura o crescerebbe, o scemerebbe. E per contro quando esso non è in equilibrio, l'uno di questi poteri la vince sull' altro, avendo però fra loro delle attenenze, siccome verrem dichiarando, per cagioni delle leggi di riscaldamento e di raffreddamento. Il potere riflettente d'altronde, essendo necessariamente complementario dell' assorbente, intendesi, che basta determinare uno di questi poteri per poterne ricavare gli altri due. Si suole particolarmente fare il paragone de' poteri emissivi de' varii corpi ad egual temperatura mercè i due seguenti metodi.

Metodo di Leslie. — Si dispone una delle palline del termometro differenziale nel fuoco di uno specchio, e sull' asse di questo, ad una giusta distanza, ponesi il centro di un cubo pieno di acqua calda; quando toglies il piano, che tratteneva il calor raggiante, la palla focale si riscalda, ed arriva all'equilibrio quando l' eccesso di calorico, che essa riceve dal raggiamento della superficie del cubo, è uguale all' eccesso di perdita che essa deve fare per la sua maggiore emissione e per il contatto dell' aria. Gli eccessi di temperatura, ch' essa prende in tal modo, sono, siccome vedremo per le leggi del raffreddamento, sensibilmente proporzionali alle quantità di calorico ch'essa riceve dalla faccia del cubo; e siccome a temperature, a superficie, ed a distanze eguali queste quantità di calorico sono proporzionali ai poteri emissivi, intendesi, che la ragione degli eccessi di temperatura data dalle varie facce è precisamente la ragione de'loro poteri emissivi.

Metodo del Melloni. — Tolgasi lo specchio, al termometro differenziale, sostituiscasi il termo-moltiplicatore e si osservino i deviamenti impulsivi dell' ago; da questi si ricavino i deviamenti definitivi, e mercè la tavola, di cui di sopra è detto, si giungerà a paragonare gli eccessi di temperatura della estremità della pila che guarda il cubo; questi eccessi, siccome quelli del termometro differenziale, trovansi proporzionali ai poteri emissivi delle facce esposte all' esperienza.

Per lo primo metodo le facce del cubo debbono avere 15 in 18 centimetri di lato; per lo secondo, ch' è molto più dilicato, basta che ne abbiano 7 in 8. Coprendo una faccia di

(e) Non s' intende troppo come la sola prontezza dell' azione sofferta dal termomoltiplicatore conduca alla conseguenza dedotta dall'autore. Ecco come sogliamo mostrare che il calorico raggiante percorre in un attimo la distanza qualunque frapposta tra il corpo caldo e l'osservatore. Voltata l'apertura della pila verso una sorgente calorifica lontana, s' intercetta con un corpo opaco la radiazione, prima in vicinanza della pila, poscia in vicinanza della sorgente; si ristabilisce ad ogni volta la comunicazione calorifica, si notano i tempi necessarii all' indice del galvanometro per arrivare al suo massimo di *deviamento impulsivo*, e questi tempi trovansi perfettamente uguali. Ma egli è manifesto che, quando si rimuove il corpo opaco, l' irradiazione calorifica ha già percorsa nel primo caso la distanza frapposta tra la sorgente e la pila termoscopica, e deve percorrerla nel secondo caso: ora i movimenti dell'indice sono perfettamente isocroni: dunque il calorico traversa lo spazio interposto tra la sorgente e la pila in un istante impercettibile.

Impiegando come sorgente di calore la bocca di un forno pieno di vetro in fusione, la cui radiazione arrivava sul termomoltiplicatore a traverso due aperture, una delle quali era nella fabbrica di vetro, l' altra nella casa ove trovavasi disposto lo strumento, avemmo l'istantaneità della trasmissione calorifica per uno spazio di 357 piedi.

In questa esperienza si può impiegare qualunque sorta di calorico raggiante, il calore oscuro tramandato dalle pareti di una stufa e persino il calor naturale del corpo umano. Solamente in tali casi, di bassa temperatura nella sorgente, conviene rendere la superficie radiante alquanto ampia, onde poter operare ad una maggior distanza. Vedremo nella nota (k) come il medesimo artifizio valga a mostrare l'istantaneità della trasmissione raggiante del calore a traverso i corpi solidi e liquidi.

Del resto conveniamo col Pouillet che la teorica della rifrazione, e la nozione sperimentale che tutte le maniere di radiazioni calorifiche posseggono dei gradi di rifrangibilità eguali o poco diversi dalla luce dimostrano, meglio d' ogni altro fatto sperimentale, la velocità del calorico raggiante essere sensibilmente uguale a quella della luce.

vari intonachi di conveniente grossezza, si avranno i poteri emissivi de' medesimi.

Ecco i risultamenti dell' esperienza:

Nomi delle sostanze	Potere emissivo o assorbente	Potere riflettente
Nerofumo	100	0
Carbonato di piombo	100	0
Carta da scrivere	98	2
Vetro ordinario	90	10
Inchiostro della China	85	15
Gomma lacca	72	18
Foglie d' argento sopra vetro	27	73
Ferro fuso levigatissimo	25	75
Mercurio (quasi)	23	77
Ferro levigato	23	77
Zinco id.	19	81
Acciajo id.	17	83
Platino depositato in strati spessi, poco levigato	24	76
Idem depositato sopra rame	17	83
Idem in lamine	17	83
Stagno	14	86
Metallo di specchi, alquanto alterato	17	83
Idem fuso levigato fresco	14	86
Ottone fuso, levigato imbrattato	11	89
Idem battuto, Id.	9	91
Id. Id. levigato vivo	7	93
Id. fuso, id.	7	93
Rame rosso depositato sopra ferro	7	93
Id. verniciato	14	86
Id. battuto o fuso	7	93
Oro (*plaqué*)	5	95
Oro depositato sopra acciajo levigato	3	97
Argento battuto, e molto levigato	3	97
Id. fuso, id.	3	97

In questa tabella ho adottato, per le superficie metalliche, i numeri che risultano dalle sperienze precisissime de' sig. de la Provostaye e Desains; la maggior parte di questi numeri s' allontanano notevolmente da quelli fino ad ora dati. Questi abili fisici han pure fatta una osservazione importante, ed è, che la proporzione di calore riflesso dal vetro aumenta con l' incidenza, quasi allo stesso modo come aumenta la proporzione di luce riflessa, mentre che sulle superficie metalliche levigate, la proporzione è la stessa sotto tutte le incidenze sino a circa 70°; ed al di là di questo punto, invece di aumentare, come avrebbesi dovuto aspettare, diminuisce notabilmente al contrario.

Per la qual cosa esprimendo con 100 il potere emissivo del nerofumo, il cui potere riflettente è sensibilmente nullo, il potere emissivo delle superficie metalliche levigate varia da 3 a 25 (*f*); e però in virtù del loro potere assorbente tali superficie assorbiscono

(*f*) Queste enormi differenze d'emissione calorifica costituiscono certamente uno dei fatti più singolari della fisica. Prevost e quindi Fourier e Poisson, che s' occuparono della teorica matematica del calore, vollero pertanto rendersi ragione del perchè due superficie uguali ed ugualmente riscaldate emettono delle quantità diversissime di raggi calorifici; e siccome le superficie metalliche esposte alle irradiazioni calorifiche si riscaldano meno dei corpi anneriti, perchè riflettono più facilmente i raggi incidenti; così essi credettero che i metalli emettessero meno calore del nerofumo perchè ripercotevano più copiosamente verso l' interno i raggi di calore che tendevano ad uscirne. Questa spiegazione sembrandoci del tutto ipotetica, noi procuraimmo di scingliere il quesito per una via tutta sperimentale.

Rumford aveva già osservato che un vaso metallico pieno d'acqua calda essendo esteriormente dipinto con una sola mano di colla di pesce si raffredda più lentamente che nel caso ove gli si appongono tre o quattro mani di questa sostanza: egli ne dedusse con ragione che una porzione del calor vibrato doveva muovere dagli strati del corpo sottoposti alla superficie. Questa conclusione risulta poi evidentissima coprendo una parete del cubo di

al più $\frac{1}{4}$ ed almeno $\frac{3}{100}$ del calore incidente, e quindi ne riflettono almeno $\frac{3}{4}$ ed al più $\frac{97}{100}$.

È mestieri intanto osservare, che le ragioni dei poteri emissivi di queste sostanze, e quindi quelle dei loro poteri assorbenti e riflettenti, potrebbero forse non conservarsi le stesse a tutte le temperature, e per tutte le specie di calorico: esponendo per esempio al calor solare il nerofumo ed il carbonato di piombo accade effettivamente, che essi non hanno più lo stesso potere assorbente; imperocchè il carbonato di piombo riflette più di questo calorico, che il nero fumo; il che deriva o da un reale cambiamento di ragione o da una non precisa determinazione ch'erasene potuto fare alla temperatura ordinaria (g).

Se si volesse direttamente determinare il

Leslie con una sola mano di vernice ed un' altra con tre o quattro mani: poichè allora la prima manda sul termoscopio una irradiazione calorifica assai meno intensa della seconda. Ora mettendo a calcolo tutti gli elementi di una esperienza di tal fatta eseguita colla massima cura, potemmo accertarci che il limite donde partivano gli ultimi raggi interni stà a quarantrè millesimi di millimetro sotto la superficie della vernice. La difficoltà di estendere ugualmente il fumo di una candela sopra una superficie metallica ci impedì di misurare il limite della radiazione interna rispetto a questa sostanza: ma è però facile il dimostrare che anche nel nero di fumo i punti sottoposti all' ultima superficie mandono direttamente all' esterno alcune radiazioni calorifiche; perchè, dopo di avere interamente annerito col fumo della candela tutti i punti d'una faccia del cubo di Leslie, si trova un aumento notabile nella energia dell' irraggiamento quando si ripete l' operazione; e questo aumento non cessa, se non dopo di aver passato la fiamma da quindici a venti volte sulla superficie metallica affumicata.

Facendo poi aderire alle quattro pareti del cubo spalmato di vernice delle foglie d'oro di varia grossezza, tutte fornirono la stessa quantità di calorico raggiante. La minima grossezza di tali foglie era di due millesimi di millimetro. Ora è possibile che molti punti situati entro questo limite di profondità non possano mandar fuori liberamente la menoma quantità del proprio calore per virtù di radiazione; ed è poi certissimo che quelli i quali stanno oltre i due millesimi di millmetro non raggiano all' esterno.

Una porzione dell' irradiazione dell' oro proviene dunque da un limite ventidue volte *almeno* più vicino alla superficie degli ultimi punti raggianti situati nell' interno della vernice: e non dobbiamo pertanto maravigliarci se il calore emesso dalla vernica sia tanto superiore a quello dell' oro.

Le diverse azioni calorifiche delle facce del cubo di Leslie sarebbero dunque dovute alla varia grossezza dello strato superficiale donde partono i raggi di calore.

(g) Non sappiamo perchè l' autore perseveri a ritenere come dubbia una quistione da noi sciolta per via di esperienze tanto semplici da potersi facilmente ripetere dalle persone le meno versate in questa sorta di studii. Basta in fatti procacciarsi una serie di sottili dischetti di cartone o di metallo, annerirli tutti da un lato, e coprirli dall' altro con varie sostanze. Si dispongono poscia successivamente questi vari dischi contro l' apertura della pila del termo-moltiplicatore, avendo cura di tener costantemente rivolta verso lo strumento la faccia annerita, si fa arrivare sull' altra la radiazione calorifica, e si nota la deviazione del galvanometro. Ecco i risultamenti ottenuti con questo metodo applicato a cinque sostanze ed altrettante qualità di calore.

CORPI SOTTOPOSTI ALLE RADIAZIONI	SORGENTI CALORIFICHE				
	Lucerna di Locatelli	Platino rovente	Metallo riscaldato a 400°	Recipiente pieno d' acqua bollente	Lucerna d' Argant
Nero di fumo	100	100	100	100	100
Carbonato di piombo	53	56	89	100	24
Colla di pesce	52	54	64	91	45
Inchiostro della China	96	95	87	85	100
Gomma lacca	43	47	70	72	80
Superficie metallica	14	13,5	13	13	17

I metalli assorbiscono dunque, come il nero di fumo, qualsiasi specie di calore con una energia

potere riflettente potrebbonsi porre innanzi al fuoco dello specchio (*fig.* 349) delle lamine piane di vari corpi, e porre la palla focale del termometro differenziale nel fuoco de' raggi riflessi. La sorgente di calorico rimanendo la stessa, gli eccessi di temperatura della palla focale sarebbero tra loro come i poteri riflettenti.

Pe' corpi non metallici la qualità della superficie ha una debolissima efficacia sul potere emissivo; o che tali superficie siano terse, lavorate allo smeriglio, o profondamente rigate, esse emettono quasi sempre la stessa quantità di calorico; questo almeno è stato fermato dal Melloni per la lignite compatta, l'avorio ed il marmo, i cui poteri emissivi van compresi tra 93 e 98.

Non può dirsi lo stesso delle superficie metalliche: quando queste son coperte di righe o solcate esse spandono generalmente maggior copia di raggi calorifici; non pertanto il Melloni ha fatto delle curiose sperienze sul proposito. Dopo di aver preparato quattro lamine di argento purissimo la prima battuta e forbita, la seconda battuta e rigata, la terza fusa e forbita e la quarta fusa e rigata, ne formò le quattro facce di un cubo per paragonare i loro poteri emissivi mercè il termomoltiplicatore. I deviamenti ottenuti furono i seguenti: per la prima 10°; per la seconda 18°; per la terza 13°,7; e per la quarta 11°,3; questi numeri rappresentano con moltissima approssimazione i poteri emissivi. Per la qual cosa si vede che rigando l'argento fuso, l'e-

presso a poco uguale; ma gli altri corpi presentano delle differenze notabilissime. Per limitarci al solo carbonato di piombo ed alla massima sua variazione, noi vediamo questa sostanza esposta successivamente a due radiazioni di eguale energia ma di diversa qualità, assumere delle temperature che stanno tra di loro come 100 a 24. Questi numeri non rappresentano certo i veri rapporti dei poteri assorbenti a cagione del raffreddamento ineguale dei dischi dovuto al contatto dell'aria; ma essi ne dimostrano *irrefragabilmente* le variazioni: poichè tutto essendo perfettamente simile ne' cinque casi della nostra tabella, *il medesimo disco sottoposto ad una medesima quantità di calore, non può riscaldarsi tanto diversamente che in virtù di un cambiamento nella facoltà di assorbire la radiazione incidente.*

Il bianco dei muri, la carta, la neve, patiscono essi pure delle variazioni notabilissime nel loro potere assorbente; le quali variazioni sono del tutto analoghe a quelle del carbonato di piombo: e ciò dimostrasi per le due prime sostanze sottoponendole al cimento come dianzi si è detto. Quanto alla neve è d'uopo provvedersi di un tubo di forma e grandezza prossimamente uguali a quelle che possiede la pila termo-elettrica munita delle sue appendici prismatiche; e stabilito nella sua parte centrale un diaframma normale all'asse, che lo partisca in due cellette uguali, riempirle amendue di neve asciutta e caduta di fresco durante una temperatura atmosferica inferiore a zero: Allora si mettono in presenza due sorgenti di calore molto diverse, un vaso pieno d'acqua bollente, o la lamina metallica riscaldata a 400° per esempio, ed una lucerna all'Argant; e frapposta tra loro la pila termoscopica con ambe le appendici aperte, per modo che l'azione raggiante di ogni sorgente operi sopra una sola faccia della pila, si spinge questa dell'uno o nell'altro verso sintantochè l'indice del galvanometro rimanga presso a poco immobile sullo zero del quadrante. Alla pila si sostituisce infine il tubo pieno di neve, e si vede questa dileguarsi costantemente in un tempo più breve nella cella rivolta verso i raggi vibrati dalla sorgente a temperatura meno elevata.

Il principio della variazione nel poter assorbente conduce ad una chiara intelligenza di molti fatti interessanti: rechiamone un solo esempio.

Quando la terra è coperta di neve ed il cielo limpido e sereno, si pigli un'assicella di legno sottile, e dopo di averla dipinta in nero, si sospenda mediante alcuni fili o sostegni orizzontalmente e ad una piccola distanza dalla neve, e si lasci in tal posizione per alcune ore prossime al meriggio: la neve si scioglierà più presto all'ombra dell'assicella che nei luoghi i quali ricevono l'impressione diretta dei raggi solari. Ora, come può succedere che l'azione immediata del sole sia meno efficace di quella del legno annerito, il quale assorbisce prima i raggi solari, e ne tramanda poi una sola frazione sulla neve sottostante? Dopo quanto abbiam veduto di sopra, ognuno risponde facilmente a siffatta quistione. Il poter assorbente della neve è debole pei raggi solari, energico per quelli che provengono dal riscaldamento del disco. Supponiamo che sopra 100 raggi solari diretti 10 soli vengano assorbiti dalla neve, gli altri ripercossi; supponiamo che succeda precisamente il contrario per rispetto al calor vibrato dal legno annerito: supponiamo infine che un quinto del calor incidente sul legno provenga raggiando sulla neve esposta all'ombra. Le quantità di *calore attivo* saranno evidentemente 10 al sole, e 18 all'ombra dell'assicella: la fusione della neve si fa quindi più sollecitamente nel secondo, che nel primo caso.

Questo esperimento serve a spiegare in parte la cagione per cui la terra rivestita di neve si scopra prima intorno ai fusti, e sotto le diramazioni delle piante (*Bibl. Univ. an. 1859*): diciamo in parte, perchè altre cagioni concorrono alla produzione del fenomeno, cioè: il calore solare, diretto o diffuso, ripercosso dai fusti sulla neve; la minor perdita di calore raggiante verso il cielo sofferta dalla neve presso gli alberi ed arbusti; e segnatamente il calore che tramandano le piante quando la temperatura dell'aria si fa superiore allo zero: in quest'ultima circostanza la pianta si riscalda, e la neve resta costantemente a zero: l'equilibrio di temperatura non può mai aver luogo tra questi due corpi; e pertanto la neve si strugge intorno all'albero, prima per contatto, poscia per virtù d'irradiazione.

emissione in vece di crescere scende da 13°, 7 ad 11°, 3, cioè per più di $\frac{1}{6}$. Lo stagno, l'oro e l'argento fusi e forbiti scemano del pari il potere assorbente quando sono rigati o sono battuti a freddo. Pare che rendendo le superficie più dure e più elastiche si scemi la facoltà che hanno di assorbire e di emetteri il calorico (*h*).

Ci ha eziandio una importante distinzione a fare per ciò che riguarda il potere riflettente de' corpi: sopra uno specchio il più terso la riflessione della luce non è mai tanto perfetta da non far vedere la superficie e da non fare fino ad un certo segno ravvisare il colore del metallo. Oltre alla riflessione regolare dunque sonovi due altre azioni che si generano, una certa riflessione irregolare cioè che disperde per ogni verso una parte della luce incidente, senza alterarla, ed un certo *potere diffusivo* il quale anche disperde per ogni verso un'altra porzione di luce, ma dopo di averla alterata, cioè dopo di averle dato una colorazione speciale che appartiene alla natura del corpo. In ragione che le superficie sono meno levigate la riflessione regolare scema ed il potere diffusivo cresce; ma è malagevole il distinguere ciocchè alla riflessione irregolare interviene, ed è in particolare difficile di giudicare se la luce realmente assorbita vari in una grande proporzione. Ciocchè interviene alla luce sembra intervenire al calorico, siccome appresso diremo (186 *bis*), ma non di meno, in questo caso, è forse anche più difficile lo sceverare ciocchè spetta alla riflessione irregolare da ciocchè appartiene al potere diffusivo.

481. *Equilibrio di temperatura in un recipiente qualunque. — Riflessione del freddo.* — Dalle cose dette segue, che quando l'equilibrio di temperatura è fermato in un recipiente qualunque, ogni corpo perde tanto calorico per quanto ne assorbisce; la sua perdita va a riparare in parte le perdite di tutti i corpi circostanti; e per contro il suo guadagno risulta dall'emissione, che tutti questi corpi fanno verso di lui; questo scambievole e perenne baratto dunque tiene in continuo commercio tutti i corpi del sistema, in modo che nessuno di essi può patire un cambiamento di temperatura senza che gli altri al momento vi prendano parte, sebbene in ragion diversa, a seconda della loro grandezza, della loro distanza, e de' loro poteri calorifici.

Laonde una candela accesa introdotta in un edifizio cambia tosto con la sua emissione calorifica la temperatura di tutti i corpi, siccome cambia con l'emissione luminosa la chiarezza dei medesimi. Analoghi effetti, ma di diversa intensione, genererebbe un pezzo di ghiaccio. Il termometro, che si troverebbe vicino si abbasserebbe o ascenderebbe, secondochè per l'antecedente equilibrio troverebbesi al di sopra o al di sotto di zero, ed il suo moto sarebbe tanto più considerevole, quanto più grande sarebbe l'angolo secondo il quale cadrebbero sopra di esso le radiazioni, o secondochè troverebbesi più vicino al ghiaccio. Quando il termometro discende non è già che il ghiaccio non mandi calorico verso di lui, ma solo gliene dà meno de' corpi che la sua presenza nasconde al termometro, e de' quali la le veci: allora il termometro perdendo sempre lo stesso, e ricevendo meno, deve necessariamente abbassarsi. Se quest'effetto voglia rendersi più forte basterà mettere il termometro nel fuoco di uno specchio, ed il pezzo di ghiaccio innanzi al medesimo; allora il termometro guardando il diaccio direttamente e per riflessione, l'effetto sarà lo stesso di quello che si avrebbe aumentando

(*h*) Questa conseguenza risulta dalle sperienze suddette, poichè i corpi non metallici ed incapaci di ricevere e conservare uno stato di maggior durezza ed elasticità emettono la stessa quantità di calorico radiante, qualunque sia lo stato di pulimento o di ruvidezza comunicato alla loro superficie; ed i metalli resi più duri ed elastici col lavoro del martello o del laminatoio raggiano assai meno de' metalli fusi e non temprati, nè battuti, nè compressi.

Ma le stesse sperienze conducono ad un'altra conseguenza importantissima che l'autore doveva forse enunciare più esplicitamente, onde distruggere il resto di un pregiudizio che si trova generalmente invalso *tra le persone istruite, ed anche presso molti fisici e naturalisti di merito distinto.* Leslie aveva osservato che lustrando due facce del suo cubo, e togliendo poscia il lustro all'una di essa collo smeriglio, la lima, o il punteruolo, la superficie inasprita raggiava assai più della liscia e lucida. Tale esperimento, descritto e ripetuto le mille volte, fu interpretato in quel senso che sembrava evidente; cioè: che le scabrosità facilitano l'irradiazione delle superficie calde: laonde molti ritengono tuttavia come vera siffatta conclusione. Ora per dimostrarne la falsità basterebbe citare le sostanze *non metalliche* ove nessuna differenza apparisce tre le irradiazioni del corpo, sia questo ruvido, oppur terso e pulito. Ma l'errore della deduzione riesce anche più manifesto ne' *metalli*: imperocchè ivi s'ottiene non solamente l'eguaglianza di emissione per la superficie liscia e le superficie scabra, ma si rende questa, *ora più ora meno* raggiante di quella!

il pezzo di ghiaccio, o avvicinandolo di più al termometro. Questa esperienza della riflessione frigorifica parve da prima un paradosso; e vi fu chi pretese inferirne l'esistenza de' *raggi frigorifici*: ma intendesi quanto facilmente di essa rendasi ragione, e come sia una conseguenza necessaria de' principj dichiarati.

§. II. *Fenomeni generali del calorico raggiante ne' corpi diatermani.*

Tutto quello che diremo sul proposito è ricavato interamente dalle belle ricerche fatte dal cav. Melloni e pubblicate negli *Annali di chimica* e nel *Rendiconto dell' Accademia delle Scienze* (*dal* 1833 *al* 1839). È questo, come appositamente dice Biot nell'importante rapporto che ne fece all'Accademia delle scienze (t. 14), « un nuovo campo di scoperte, » che il Melloni ha percorso con sagacia, » perizia e pazienza incredibili ». Ci duole di non poterne qui dare se non una ristrettissima idea.

482. *Corpi atermani e diatermani.*—I corpi che arrestano il calorico raggiante siccome fanno i corpi opachi con la luce diconsi *atermani*: e per contro quelli che dan passaggio al calorico raggiante, siccome i corpi diafani fanno per rispetto alla luce, diconsi *diatermani*. (i) Così l'aria è un corpo diatermano, e noi vedremo che i corpi solidi e liquidi possono anche essere diatermani in diverso grado, secondo la loro natura, la loro grossezza, lo stato della loro superficie, la natura del calorico che si presenta per attraversarli ec. (k).

483. *Tutti i corpi diafani non sono equal-*

(i) A questo denominazioni credemmo opportuno di sostituire in seguito *adiatermici* e *diatermici*, voci più regolarmente derivate dalle loro radicali e più conformi all' indole della nuova nomenclatura da poi adottata (*Vedi la nota* (p)).

(k) Questa facolta di trasmettere il calore allo stato raggiante, che apparisce si manifesta nell'aria atmosferica, è dessa poi realmente propria de'solidi e dei liquidi? Il dubbio non ci pare interamente rimosso dalle sperienze descritte nelle pagine seguenti del testo (nn. 483, 484, 485, e 486), e crediamo tanto più necessario di doverlo combattere con saldi argomenti, quanto che parecchi fisici di sommo merito attribuivano ancora pochi anni sono i segni termoscopici osservati dietro un strato solido, non già al passaggio immediato della radiazione calorifica, ma si bene al calore assorbito dallo strato, e quindi tramandato sul termoscopio. Ecco pertanto i dati donde ci sembra risultare colla massima evidenza la permeabilità dei corpi solidi e liquidi pel calorico raggiante.

Sia una lamina verticale di metallo pertugiata nella sua parte centrale. Si ponga ad una certa distanza, e sulla linea orizzontale che passa pel centro del foro, da una parte la sorgente calorifica, dall'altra la pila del termo-moltiplicatore. Si turi finalmente l'apertura della lamina metallica con una piastra di salgomma, di cristallo di monte, di vetro, o d'altra sostanza diatermica. In tale disposizione di cose, il galvanometro indicherà una certa impressione calorifica ricevuta dalla pila; ma si tolga quest'ultima dal suo posto, e si porti alquanto lateralmente, mantenendola ad una distanza invariabile dal centro del foro, e sempre rivolta verso il corpo diatermico: ogni segno di calore cesserà, e l'indice dello strumento scenderà tosto sullo zero della propria scala. Dunque *l'azione osservata nel primo caso non deriva dal riscaldamento dello strato diatermico, ma da una specie particolare di calore che lo traversa in una sola direzione, e continua a propagarsi di là parallelamente alla linea retta condotta dal centro della sorgente al centro del foro.*

Di più questo calore incapace della propagazione laterale è anche in certa qual guisa indipendente dalla disposizione delle particelle materiali frapposte sul suo proprio cammino. E ciò si prova operando sopra uno strato sufficientemente esteso, le cui varie porzioni si fanno passare rapidamente contro l'apertura; poichè allora l'indice del galvanometro se ne stà immobile sulla posizione angolare prodotta in virtù della prima azione calorifica. *La quiete* o *il moto delle particelle ond' è composto lo strato diatermico*, o *trascalescente*, *non esercitano dunque nessuna azione sul calorico propagato secondo la sola direzione della sorgente.*

Finalmente il medesimo calore che passa in strato da banda a banda, senza essere smosso dall'agitazione delle varie parti ponderabili; percorre in un attimo qualunque estensione del mezzo diatermico. Per dimostrarlo basta intercettare l'irraggiamento calorifico, e lasciato scendere a zero l'indice del termo-moltiplicatore, stabilire di bel nuovo la comunicazione calorifica, e notare con un buon cronometro quanti secondi si esigono affinchè l'indice giunga, per l'azione dell'efflusso calorifico sulla pila, alla massima sua deviazione. L'irradiazione può intercettarsi prima, o dopo il suo transito per la materia solida; ora, sì nell'uno che nell'altro caso, l'indice impiega sempre lo stesso tempo a percorrere l'arco di deviazione; e ciò qualunque siasi la quantità della materia diatermica interposta. Dunque *il nostro calore dotato della sola propagazione rettilinea, ed irremovibile dal suo cammino, traversa ogni strato trascalescente, solido o liquido, in un istante impercettibile*

Le tre leggi, di cui abbiam dimostrata l'esistenza, sono opposte a quelle che osservansi nella trasmissione ordinaria del calore, e concordano a capello colle tre proprietà fondamentali manifestate dalle radiazioni calorifiche transitanti per l'aria atmosferica.

Concludiamo che, *il calore si propaga entro certi corpi solidi e liquidi, non solo successivamente, da strato a strato, ma anche immedia-*

mente diatermani, e gli opachi non sono egualmente atermani. — Lo strumento da adoperarsi per questa esperienza è il termo-moltiplicatore (*fig.* 346) di cui di sopra è detto; le sorgenti di calorico sono: la lucerna del Locatelli *i*; la spira di platino *k* renduta incandescente per la combustione dell'alcool; la lamina di ottone annerita *l*, innalzata a 400° di temperatura mercè una lucerna ad alcool. il cubo *q*, finalmente; pieno d'acqua bollente, la cui temperatura conservasi, essa pure, mercè una lucerna. Siffatte sorgenti costanti di calorico mettonsi una per volta sul sostegno *e* che si può avvicinare o allontanare dalla pila; de' parafuochi o composti di due sottili lamine di ottone son mobili a *cerniera* sulle loro aste, e possono essere abbassati o elevati secondo le occorrenze: da ultimo alcuni sostegni con convenienti aperture sono ordinati per modo da ricevere le lamine de' varî corpi che si sottopongono all'esperienza. Ora se si saggino le varie sorgenti di calorico, si notino i corrispondenti deviamenti impulsivi per ricavarne quindi i definitivi, e però l'espressione delle intensioni, e dopo nel tragitto del calorico pongansi successivamente le lamine *r* di salgemma, d'allume, di vetro nero, di quarzo naturalmente affumicato, ec. per ottenerne le corrispondenti intensioni, si conoscerà paragonando queste alle prime; che il salgemma lascia passare quasi tutto il calorico sia qualunque la sorgente; che l'allume ne lascia passare appena una piccola porzione, e tanto meno per quanto meno elevata è la temperatura della sorgente; nell'atto che il vetro nero, ed il quarzo affumicato, che son quasi opachi da permettere appena di vedere il disco del sole, lascian passare molto più calorico dell'allume, tuttochè anche questo calorico scemi colla temperatura della sorgente.

Laonde il sal gemma è molto diatermano; e lo è egualmente per tutte le sorgenti; l'allume pochissimo, e tanto meno per quanto minore è la temperatura della sorgente; il vetro nero ed il quarzo affumicato sono mirabilmente diatermani, se pongasi mente alla loro opacità, ma scema in essi pure questa proprietà con la temperatura della sorgente.

481. *La quantità di calorico riflessa perpendicolarmente sulle due facce di una lamina diatermana è quasi costante ed uguale ad $\frac{1}{13}$ del calorico incidente.*—Se si esprima con 100 l'intensione del calorico che cade sopra una lamina di salgemma, l'intensione di quello che passa è sempre 92,3, sia qualunque la sorgente. Onde la quantità assorbita o riflessa sulle due facce è 7,7, il che darebbe circa $\frac{1}{13}$ se non vi fosse sensibile assorbimento. Or siccome tanto le lamine della grossezza di un millimetro, quanto quelle di parecchi centimetri danno lo stesso risultamento, egli è mestieri conchiudere, che realmente il salgemma reca una diminuzione al calorico solo per riflessione e non per assorbimento.

Questa conclusione diventa certissima per le seguenti sperienze. Prendasi da una parte una lamina di vetro della grossezza di 8 millimetri e dall'altra sei piastre consimili di vetro, la prima di due millimetri e le altre di varie grossezze ma che unite insieme con la prima formino una grossezza totale di 8 millimetri: l'intensione del fascio trasmesso dalla lamina di 8 millimetri è 23; quella del fascio trasmesso dalle sei lamine è 15; l'assorbimento essendo lo stesso ne' due casi l'indebolimento osservato nel caso delle sei lamine deriva solo dalla riflessione. Per determinare ciò che appartiene alla prima ed alla seconda superficie si può dunque ragionare come se l'assorbimento fosse nullo: sia i l'intensione del fascio incidente, r, r' le proporzioni che sarebbero riflesse alla prima ed alla seconda superficie se la primitiva intensione fosse l'unità, l'intensione del fascio che cade sulla seconda superficie del vetro di 8 millimetri sarà $i(1-r)$, e quella del fascio trasmesso da questa seconda superficie $i(1-r)(1-r')$; quest'è anche l'intensione, che sarebbe trasmessa dal primo vetro della riunione de' sei, ma egli è facile il vedere, che l'intensione del fascio trasmesso dal sesto vetro dell'anzidetta riunione, dopo le sei riflessioni esterne ed altrettante interne, sarà definitivamente $i(1-r)^6(1-r')^6$; la ragione delle due intensioni è dunque $(1-r)^5(1-r')^5$, che è uguale alla ragione di 15 a 23 data dall'esperienza; se ne ricava quindi $(1-r)(1-r')=0{,}918$; e però la porzione riflessa per una riflessione esterna ed un'altra interne è $1-0{,}918=0{,}082$, ovvero circa $\frac{1}{13}$ siccome si è trovato pel salgemma. Lo stesso risultamento ottiensi ancora dal cristallo di roccia tagliato perpendicolarmente all'asse. Da tutto ciò possonsi ricavare queste due conseguenze: 1° che

tamente e sotto forma di raggi che traversano tutta l'estensione del mezzo con una immensa velocità.

il salgemma assorbisce una insensibile porzione del calorico che lo attraversa ; 2°, che la riflessione perpendicolare sulla prima e sulla seconda superficie di una lamina di sale, di vetro, o di quarzo equivale ad $\frac{1}{13}$ del calorico incidente. (*l*)

485. *Effetti della grossezza delle lamine diatermane, e composizione degli efflucii di calorico emessi da diverse sorgenti, o trasmessi da diverse lamine* — Abbiamo fermato che il salgemma non assorbisce alcuna sensibile porzione di calorico raggiante, almeno fino alla grossezza di tre o quattro centimetri; ma questo corpo è il solo assolutamente diatermano: tutte le altre sostanze assorbiscono più o meno calorico: e questi assorbimenti variano colla grossezza delle lamine, e la natura delle sorgenti calorifiche, secondo leggi intralciatissime.

Ecco la tavola dei risultamenti che si hanno sul proposito relativamente al vetro, al cristallo di roccia limpido o affumicato, all'olio di colza, ed all' acqua distillata.

(*l*) Se giova conoscere la perdita del calore per la somma delle riflessioni sofferte nello attraversare una lamina diatermica, è assai più utile ed interessante il sapere la quantità di calore ripercossa alla sola superficie anteriore.

Per avere la soluzione di questo quesito, supponiamo che x rappresenti la quantità cercata in una lamina perfettamente limpida e polita di salgemma. Sia, per maggiore facilità, il calor incidente uguale ad uno ; $1-x$ sarà il calore che penetra nell' interno della lamina ; e $x(1-x)$ la riflessione di questo calore alla superficie posteriore ; poichè qualunque radiazione si trasmette nel salgemma senza patirvi nessun assorbimento sensibile. Ora le due riflessioni congiunte alla quantità di calore trasmesso, che sappiamo essere 0,923, devono riprodurre l' unità di calor incidente. Avrem dunque

$$x+x(1-x)+0,923=1.$$

equazione di secondo grado donde risulta $x=0,0393$.

La quantità di calor riflesso sotto l' incidenza perpendicolare non cambia sensibilmente per una variazione di 25 o 30° intorno alla normale : basta infatti osservare la posizione dell' indice termoscopico quando una lamina di salgemma è esposta all' azione perpendicolare dell' irraggiamento calorifico; poscia inclinare la lamina a destra o a sinistra formando colla normale il detto angolo di 25 o 30°. Si vedrà l' indice termoscopico mantenersi quieto ed immobile.

Questa osservazione giustifica pienamente, tanto l' ipotesi sulla quale è fondata l' equazione precedente, quanto il ragionamento matematico del testo. E veramente, tenendo a calcolo due sole riflessioni, l' una alla superficie anteriore e l' altra alla superficie posteriora della lamina, si suppone che le riflessioni successive dovute a quella porzione di calore, la quale ripercossa dalla seconda superficie viene ad incontrare nuovamente la prima in direzione normale, torna verso la seconda, esce in parte dalla lamina, ritorna in parte verso la prima e via dicendo, si suppone, dicevamo, che queste riflessioni secondarie siano al tutto trascurabili per la loro estrema debolezza : e l' esperienza della inclinazione della lamina prova la verità di questa supposizione. Infatti la radiazioni emergenti in conseguenza delle riflessioni secondarie, vengono bensì a percuotere lo strumento termoscopico nel primo caso della incidenza normale, ma non possono più arrivarvi quando la lamina inclinata di 25 o 30° sulla direzione de'raggi le ripercuote lateralmente; per cui in questo secondo caso il termoscopio riceve la sola porzione di calor trasmesso : ora avendo noi trovato il medesimo effetto per la lamina perpendicolare e per la lamina obbliqua, le riflessioni secondarie sono veramente insensibili, e potevano quindi trascurarsi.

Riteniamo pertanto che, il valore della riflessione calorifica alla prima superficie del salgemma è di circa 0,04, non solamente per l'incidenza normale, ma anche per le incidenze che non se ne scostano più di 25 o 30°.

Nelle sostanze diverse dal salgemma, la quantità di calore trasmesso da una data lamina varia, e colla temperatura della sorgente calorifica, e colla qualità dei corpi, perchè i raggi rimangono più o meno assorbiti durante il passaggio. Tuttavia in certi casi l'assorbimento interno è sensibilmente nullo, come pel salgemma. Si trasmetta, a cagion d' esempio, la radiazione calorifica di una lucerna per 15, o 20 millimetri di vetro : i raggi emersi traverseranno nella medesima proporzione tutte le lamine della medesima sostanza che non oltrepasseranno i due millimetri di profondità: laonde, tanto la lamina di mezzo millimetro, quanto la lamina di una grossezza doppia o tripla, daranno la stessa trasmissione ; prova evidente che in sì fatta circostanza, il vetro non assorbisce niente, e che le due riflessioni costituiscono le sole perdite sofferte dalla radiazione. Ora le dette lamine sottili di vetro forniscono in tal congiuntura quella stessa trasmissione di 0,92 che offre il salgemma per qualunque specie di calore : la riflessione si fa dunque colla stessa energia, tanto nel vetro, quanto nel salgemma. Il cristallo di monte sottoposto ad analoghe sperienze conduce allo stesso risultamento. Conchiudiamo che, il valore della riflessione sui corpi diatermici in generale è di circa 0,04 per le incidenze, le quali non oltrepassano i 25, o 30° intorno alla normale.

Grossezza in millimetri	Vetro di San Gobin			Cristallo di roccia chiaro			Cristallo di roccia affumicato			Olio di colza		Acqua distillata	
	Lucerna del Locatelli	Platino incandescente	Rame a 400°	Lucerna del Locatelli	Platino incandescente	Rame a 400°	Lucerna del Locatelli	Platino incandescente	Rame a 400°	Lucerna del Locatelli	Platino incandescente	Lucerna del Locatelli	Platino incandescente
0,5	77,5	62,1	14,4	78,6	69,5	14,8	81,7	70,0	15,4	64,0	32,0	25,4	8,7
1,0	73,3	51,5	9,9	76,8	63,1	11,3	78,6	68,0	12,3	48,3	22,8	19,3	5,7
1,5	70,4	46,1	6,7	74,8	62,5	9,7	»	»	»	41,0	18,7	16,0	4,2
2,0	68,2	42,8	5,0	73,3	60,0	8,7	75,1	60,3	9,1	36,1	16,3	13,9	3,2
2,5	66,6	»	»	72,5	»	»	»	»	»	32,7	»	»	»
3	65,3	38,3	2,9	71,8	57,6	7,3	73,1	57,4	7,8	30,6	13,6	11,4	2,0
4	63,4	35,8	2,0	70,8	55,3	6,6	71,4	54,8	7,0	27,8	12,0	10,0	1,5
5	62,0	34,0	1,5	70,2	53,3	6,0	»	»	»	25,7	10,8	9,1	1,1
6	60,9	32,3	1,4	69,8	51,4	5,3	»	»	»	23,9	9,8	8,6	1,0
7	60,0	30,9	1,2	69,5	49,8	5,0	»	»	»	22,6	8,9	8,2	0,8
8	59,2	29,7	1,1	69,3	48,4	4,6	»	»	»	21,8	8,1	8,0	0,6
9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21,2	7,5	7,8	0,5
10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	21,0	7,1	7,7	0,4
11	»	»	»	»	»	»	»	»	»	20,9	6,7	7,7	0,3
50	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12,5	2,1	2,4	0,0
86	»	»	»	»	»	»	59,0	33,0	0,7	»	»	»	»
100	»	»	»	»	»	»	»	»	»	8,1	1,2	1,3	0,0
150	»	»	»	»	»	»	»	»	»	6,1	»	0,7	0,0
200	»	»	»	»	»	»	»	»	»	5,3	»	»	»

Non tutt'i numeri contenuti in questa tavola sono ricavati immediatamente dall'esperienza, perocchè non sempre si è potuto operare sopra grossezze perfettamente di $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{3}{2}$, ec di millimetro; ma allora i numeri corrispondenti a queste grossezze si sono avuti mercè d'interpolazioni tra i numeri vicini.

Le sperienze sull'olio di colza si son fatte in tubi chiusi da lamine di salgemma: ma quando la grossezza dell'olio oltrepassava 3 millimetri era indifferente di chiudere il tubo col vetro o col sale.

Dopo di aver dimostrato che l'acqua distillata opera sensibilmente come l'acqua salata, è stato facile di conoscere che una falda di acqua di 0mm,3 ingenera lo stesso effetto, tanto se trovisi entro piastre di sale, quanto entro piastre di vetro.

Tutti i risultamenti sono stati corretti per ragion della perdita che deriva dalle due riflessioni, esterna ed interna; se l'intensione del fascio incidente sia espressa da 100 si ridurrà realmente a 92,3 per la riflessione.

Si osserva, che per le cinque sostanze l'assorbimento è già considerevolissimo in una grossezza di $\frac{1}{2}$ millimetro, e che va crescendo di mano in mano che scema la temperatura della sorgente.

L'assorbimento totale da prima cresce rapidamente colla grossezza, ma par che tenda verso un limite, imperciocchè accrescendo molto la grossezza, il fascio trasmesso resta quasi della stessa intensione; da ciò segue che l'effluvio calorifico di ciascun corpo è composto di elementi diversamente atti ad essere assorbiti; richiedendo alcuni piccole grossezze, altri alquanto maggiori, perchè siano compiutamente assorbiti, altri infine potendo resistere all'assorbimento. Ma questa composizione del calorico raggiante varia con la natura della sorgente donde deriva; le sorgenti di bassa temperatura avendo generalmente una parte maggiore di raggi atti ad essere assorbiti, almeno quando l'assorbimento si fa dalle sostanze comprese nella tavola. (m)

486. *Diatermansia o termanismo.* — Quando la composizione del calorico si mette in disamina, non già in se stessa ed in modo assoluto, ma in un modo relativo e per rispetto al mezzo da esso calorico attraversato, si giunge a questa importante conclusione, cioè: che l'azione del calorico sopra i corpi diatermani somiglia generalmente quella che i corpi trasparenti e colorati esercitano sulla luce. E per fermo, ciocchè forma il distintivo de' corpi colorati è che essi assorbiscono in preferenza il tale o tale altro colore; in modo che, per esempio, se un vetro lascia passare solo il rosso semplice, un altro simile posto dietro di esso non assorbirebbe quasi nulla, nell'atto che un vetro violetto non farebbe passare quasi nulla; se i vetri colorati in vece di render semplice la luce che li attraversa le conservano delle tinte composte si hanno tuttavia analoghi risultamenti, la cui disamina però è alquanto più

(m) L'eterogeneità degli elementi che compongono una data radiazione calorifica si deduce, non solamente dalle leggi di propagazione entro un dato mezzo trasenlescente, ma ben anche, e forse con maggior evidenza, dai fenomeni che presenta la sua trasmissione successiva per le sostanze diatermiche di diversa natura.

Infatti le lamine opache di vetro nero, d'ossidiana, di mica nera, o di sale affumicato, e le lamine trasparenti di alcune specie di vetro verde, esposte all'irraggiamento delle fiamme lasciano passare una qualità di calore che viene tutta sensibilmente assorbita da una piastra limpidissima di allume; per cui, comunicata al fascetto incidente una certa energia, si osserva con questi corpi il fenomeno sorprendente di due lamine diafane, che separate lascian passare tanto calore da cacciar l'ago termoscopico a 25°, o 30°, e che congiunte intercettano sì fattamente la radiazione calorifica da ricondur l'indice sotto il zero della scala. Ora questa compiuta intercezione di raggi non avrebbe luogo se i fascetti calorifici trasmessi dalle due lamine non fossero di costituzioni al tutto diverse. Imperocchè accoppiando due mezzi diafani si può bensì ottenere, e si ottiene infatti, l'opacità, ossia estinguimento della luce incidente, ogniqualvolta i raggi emergenti dall'uno di essi mezzi non sono trasmissibili per l'altro: ma il fenomeno esige *necessariamente* che ambi i mezzi siano colorati. *Dunque il mezzo limpido e senza colore impiegato nella nostra esperienza possiede una VERA COLORAZIONE CALORIFICA che assorbe certi elementi dell'efflusso incidente e trasmette gli altri.*

Trasmessa poi una data quantità di calore per due delle nostre lamine opache, quella di vetro nero, per esempio, e quella di sale affumicato; ed interposto successivamente sul cammino delle due irradiazioni emerse un vetro diafano ordinario si troverà che nel primo caso il vetro lascia passare liberamente una gran proporzione dell'efflusso calorifico, e che quasi tutto il calorico è intercettato nel secondo caso.

La radiazione vibrata da un corpo incandescente contiene dunque diverse specie di raggi calorifici totalmente privi di luce.

Gli studiosi che desiderassero conoscere a fondo le dimostrazioni di queste due proposizioni, le più importanti di tutte quelle ultimamente aggiunte alla scienza del calorico raggiante, devono consultare il nostro primo volume della *Thermochrôse*, p. 217, 291 e seg.

intralciata. Vedremo lo stesso accadere a' corpi diatermani. Mettiam prima separatamente in disamina le 5 sostanze della tavola antecedente: tosto che il calorico ne ha attraversata una grossezza di 5 o 6 millimetri, esso è *purificato* o *termanizzato* per ciascuna di queste sostanze; allora non solo acquista maggiore attitudine ad attraversarle ma soffre da esse un debolissimo assorbimento; in questo caso una nuova grossezza della stessa sostanza si comporta col fascio termanizzato come il salgemma con qualche specie di calorico o come il vetro rosso con la luce colorata che ne abbia attraversato un altro simile. Se ora sopra un fascio termanizzato da una sostanza se ne faccia operare un' altra, ecco quello che osservasi: il vetro, per esempio, opera sul calorico che abbia attraversato il cristallo di roccia quasi nello stesso modo che opererebbe sul calorico naturale, assorbendone cioè una gran parte; e colesto assorbimento scema rapidamente col crescere della grossezza. L'acqua opera in simil guisa sul calorico che abbia attraversato il cristallo di roccia; queste due sostanze dunque operano sul calorico come due vetri di diversi colori operano sulla luce, ben vero però che l'uno non assorbisce tutto quello che l' altro lascia passare. A questa facoltà che hanno i vari corpi di scegliere dal calorico diversi elementi per assorbirli, il Melloni dà il nome di *diatermansia*: a noi piace chiamare semplicemente *termanismo*; di chiamare *termanizzanti* le sostanze che in tal modo scelgono de' raggi distinti per assorbirli in preferenza, e di chiamare calorico *termanizzato* quello ch' è stato modificato dalle sostanze termanizzanti, siccome dicesi luce colorata quella ch' è stata modificata dalle sostanze coloranti (*n*). Così il salgemma è diatermano e non già termanizzante, perocchè non assorbisce nulla; ed il calorico che lo ha attraversato rimane calorico naturale, cioè non termanizzato; imperocchè contiene tutt' i suoi elementi capaci di essere assorbiti. Potrebbero alcune sostanze essere meno diatermane del salgemma senza essere termanizzanti, purchè assorbissero egualmente tutti gli elementi del calorico naturale. Non tutte le sorgenti finalmente danno quel calorico che si può dire naturale; ve ne possono essere di quelle che lo diano termanizzato, siccome appunto la luce vien colorata da alcune fiamme; le stesse sorgenti da noi adoperate sono di tal natura; imperciocchè una stessa sostanza termanizzante non si comporta nello stesso modo col calorico proveniente da esse. Non vuolsi però concludere in modo assoluto, essere il calorico che proviene dalle sorgenti più calde sempre meno composto di elementi poco atti ad essere assorbiti; imperciocchè il Melloni non ha guari ha dimostrato che il sal gemma convenientemente affumicato sulla fiamma di una candela assorbisce in maggior copia il calorico derivato da sorgenti più calde. (*Comptes rendus*, t. IX).

Tutto finalmente c' induce a pensare non esservi realmente una luce calda nè un calorico lucido, imperciocchè unendo insieme convenientemente delle materie termanizzanti, come per esempio, vetro verde ed allume, si giunge a fare assorbire quasi tutto il calorico senza indebolire gran fatto la luce, siccome per l'opposto, mercè vetri neri o cristallo di rocca affumicato, si giunge quasi al totale assorbimento della luce del sole facendo passare gran parte del calorico di essa (*o*).

Vi aggiungiamo di più che nelle combina-

(*n*) La voce *diatermansia*, che adottammo dietro i suggerimenti d' Ampère ne' nostri primi studii sul calorico raggiante, fu da noi e da molti altri fisici del tutto abbandonata in seguito di nozioni più estese sulle proprietà de' corpi rispetto al calore, o sostituita dal vocabolo *termocrosi*; ma pare che siffatto cambiamento abbia ancor meno incontrato l' assentimento dell' autore, poichè egli non giudica opportuno l' accennarlo. In una delle note seguenti (*p*) cercheremo di convincere il lettore della necessità di questa nostra innovazione. Ma intanto dobbiamo osservare che la nomenclatura del Pouillet non va esente da gravi obbiezioni: una delle principali si è che in essa non trovasi la menoma allusione all' assorbimento calorifico *elettivo* de' corpi. *Termanismo*, *termanizzante*, *termanizzato*, sono tratti dalla voce greca *termao* che significa unicamente *scaldare*. Ora non si capisce troppo perchè un corpo il quale assorbe di preferenza certi elementi calorifici e lascia gli altri intatti debba dirsi *riscaldante*, e *riscaldata* una radiazione di calore alla quale mancano certi raggi.

(*o*) Non possiamo assolutamente concedere all' autore che siffatta conseguenza derivi dai fatti allegati. E perchè dunque non dobbiamo ammettere *nè luce calda*, *nè calorico lucido*? Che si trovino de' raggi di calor oscuro nelle radiazioni delle sorgenti le più luminose è cosa fuor d' ogni dubbio. abbiamo indicato nella nota (*m*) come se ne possan trarre *due specie diverse* dall' efflusso luminoso delle fiamme; e certe lamine di vetro nero, non *quasi opache* come quelle citate dal Pouillet, ma compiutamente opache per modo che *non si vegga a traverso la più leggiera immagine del disco solare*, esposte al sole trasmettono tuttavia parecchie irradiazioni calorifiche, che sono indubitatamente oscure. Ma ciò non toglie che non ve ne siano altre, le quali posseggano ad un tempo e luce e calore.

Per giustificare la conclusione del Pouillet converrebbe, se mal non ci apponiamo, aver dimostrato

zioni o sovrapposizioni delle materie termanizzanti, l'effetto che si genera non deve dipendere dall'ordine della sovrapposizione; e questo appunto l'esperienza conferma.

486. *bis. Potere diffusivo.*—Avendone data di sopra la definizione ci faremo a riferire le sperienze per le quali il Melloni ha tentato di determinarne il valore. Lo strumento è quello della figura 346; se non che esso riceve qui un'altra disposizione espressa in piano e più in piccolo nella figura 1, tavola 38. La pila *p* è munita del suo riflettitore *b* ed è portata sopra un regolo mobile intorno al centro *t*, in modo da potersi alternativamente disporre nella giacitura *p* e nella sua simmetrica *p'*. Sopra la linea *su* e ad una certa distanza dal centro *t* trovasi un diaframma e, la sorgente calorifica si dispone in *f*; al di sopra del centro *t* e perpendicolarmente ad *su* si pone un disco *d* di cartone sottile perfettamente piano, di venti centimetri di diametro ad una tale altezza che il suo centro corrisponda perfettamente all'asse della pila. Questo disco riscaldato dall'irraggiamento della sorgente si riduce tosto in equilibrio di temperatura; allora si osservano gli effetti generati dalla sua faccia posteriore sulla pila recata in *p'*; e dalla sua faccia anteriore sulla pila recata in *p*, essendo gli angoli *stp'* ed *utp* uguali tra loro. Si opera così sopra due dischi perfettamente eguali, se non che l'uno ha entrambe le facce annerite col nero fumo nell'atto che l'altro ha una faccia naturale ed una annerita: diremo quest'ultimo disco bianco perchè la sua faccia bianca è sempre dalla parte d'avanti cioè quella rivolta verso la sorgente calorifica. Ecco ora i risultamenti con quattro sorgenti di calorico. A metallo riscaldato a 100°; B platino incandescente; C lucerna del Locatelli; D lucerna del Locatelli i cui raggi sono trasmessi attraverso del vetro. Si è fatto variare la distanza delle sorgenti dal disco per avere sempre un deviamento prossimo a 12° per l'azione della faccia posteriore del disco nero: ottenuto questo si recava la pila in *p* per fare la seconda osservazione, e senza mutar per nulla la sorgente, si sostituiva il disco bianco al disco nero per assoggettarlo alle stesse irradiazioni ed alla stessa prova. Queste quattro osservazioni sono state molte volte ripetute. Diamo qui i risultamenti medii: la colonna delle forze si ottiene esprimendo con 100 il primo deviamento di ciascuna serie.

SORGENTI DI CALORICO		A		B		C		D	
		Deviamenti	Forze	Deviamenti	Forze	Deviamenti	Forze	Deviamenti	Forze
Disco nero	Faccia posteriore	12,4	100	12,3	100	11,8	100	12,2	100
	Faccia anteriore	14,6	118	14,3	117	14,1	119	14,4	118
Disco bianco	Faccia posteriore	11,5	93	10,3	84	8,1	69	5,7	46
	Faccia anteriore	16	129	18,7	152	21,0	181	26,9	230

che *un elemento lucido della radiazione solare, diligentemente purgato da qualunque altro raggio, oscuro o luminoso, essendo sottoposto all'azione assorbente de' mezzi diafani perde la propria luce in proporzione diversa dal calor concomitante*; e, per quanto sappiamo, la scienza non ha nessuno documento di questo fatto. Anzi l'esperienza conduce precisamente alla conseguenza opposta; come vedremo alla fine di queste note.

Le condizioni dell' esperienza son tali che se la faccia bianca del secondo disco avesse lo stesso potere assorbente della faccia nera del primo, i deviamenti generati dalle facce posteriori dovrebbero anche essere gli stessi, perchè v'ha medesimezza tra le due sperienze; ma le differenze sono enormi e varie secondo la natura delle sorgenti calorifiche, dunque la faccia bianca assorbisce meno calorico della faccia nera e questa differenza dipende dalla natura stessa del calorico. Ma che accade di questo calorico incidente non assorbito dalla faccia bianca? Lo dice l' ultima colonna la quale fa vedere ch' esso è ripercosso innanzi, ed il Melloni si è renduto certo ch' esso è ripercosso per ogni direzione, che non ha cioè in verun modo secondate le leggi della riflessione regolare. Ci ha dunque una riflessione irregolare variabile con la natura de' raggi incidenti, ossia un potere diffusivo. Il Melloni va in quest' ultima sentenza che veramente sembrami la più probabile; pure a togliere ogni dubbio saria mestieri prendere in disamina la natura di cotesti raggi dispersi in avanti per vedere se conservano le qualità de' raggi incidenti o abbiano acquistate altre proprietà (p).

Frattanto si può tenere per fermo che il

(p) Un fascetto di luce bianca incidente sopra un piano d' argento terso e pulito, si riflette specolarmente, e le varie sue porzioni rimbalzan tutte nel medesimo verso: tolta la levigatezza del metallo coll' attrito dello smeriglio, o in tutt' altra guisa, la riflessione regolare non ha più luogo, e gli elementi del fascetto lucido vengono ribattuti e dispersi in qualunque direzione. La ragione di questa dispersione s' intende di leggieri ponendo mente alle irregolarità che la confricazione dello smeriglio ha prodotta nella superficie del corpo: ma nel riflettersi irregolarmente i diversi elementi incidi hanno però sempre conservato esattamente i loro mutui rapporti di quantità; imperocchè se l' uno degli elementi fosse stato più assorbito dell' altro, vi sarebbe evidentemente colorazione: e la luce ripercossa è candida come la luce incidente. *La riflessione regolare, o irregolare, non varia dunque colla qualità de' raggi.*

D' altra parte, la luce bianca ripercossa da una serie di vetri puliti, opachi o trasparenti, neri, bianchi o colorati, conserva la massima parte della sua bianchezza; altra prova manifestissima che i raggi elementari della luce vengon tutti riflessi specolarmente colla stessa energia, *indipendentemente dal colore del corpo levigato*.

La medesima costanza di riverberazione, per qualunque sorta di raggio lucido, succede nei fenomeni di diffusione che presentano la carta, il bianco dei muri ed i corpi bianchi in generale, i quali vibrano all' occhio con egual facilità ogni maniera di luce. Ma rispetto ai corpi colorati, la qualità del raggio incidente ha tanta influenza, che lo stesso corpo può talora *diffonderlo* in gran copia ed apparir vivido e brillante, e talora assorbirlo quasi totalmente e mostrarsi livido e scuro: così succede infatti nelle stoffe di vario colore esposte ai diversi raggi dello spettro solare, o intendotte in un ambiente rischiarato successivamente dalla luce trasmessa per diversi vetri colorati.

Ora il disco bianco nelle sperienze citate dal Pouillet assorbe fortemente alcune specie di raggi calorifici e ne riverbera fortemente alcune altre: esso comportasi dunque relativamente al calore, come farebbe un corpo colorato rispetto a diverse qualità di luce; e nell' asserire che il disco bianco *diffonde* i raggi calorifici non assorbiti, noi ci lasciamo pertanto guidare da una possente analogia con un fatto già esistente in natura. Ma supporre una *riflessione* irregolare variabile colla qualità de' raggi incidenti sarebbe contrario a tutto quanto sappiamo intorno all' indole di questo fenomeno, il quale succede sempre, come si è dianzi mostrato, colla medesima forza per qualunque specie di raggio.

Noi non crediamo dunque permesso il dilemma del Pouillet, a meno che non si ponga prima in chiaro la possibilità, anzi l'esistenza, di una *nuova riflessione* dipendente dal colore della luce incidente; ma quand' anche la quistione fosse legittima, non s' intende come l' esame della irradiazione riverberata, potesse decidere quale delle due posizioni dovesse adottarsi. Se gli elementi dell' irradiazione calorifica incidente sono tutti leggermente ed ugualmente assorbiti dal disco bianco, la composizione e le proprietà dell' efflusso riverberato devono rimanere, e rimangono difatto, invariabili. Se poi certi elementi sono più assorbiti degli altri, la composizione dell' efflusso viene alterata, e le proprietà de' raggi ripercossi cambiano necessariamente. Ora questa costanza o questa alterazione, che sono come ognun vede pure conseguenze dell' assorbimento, si spiegherebbero tanto col principio della diffusione quanto col principio della pretesa riflessione variabile colla natura de' raggi. Ma ripetiamo che una riflessione così fatta è totalmente ipotetica, e che la riverberazione calorifica più o meno intensa de' corpi bianchi deriva da un vero fenomeno di *diffusione* del tutto analogo a quello che presentano, rispetto alla luce, i corpi colorati.

Questa teorica di una colorazione propria del calore ne' corpi bianchi è tanto più ragionevole che viene a collegarsi naturalmente coll' altra *colorazione calorifica* manifestata dalla massima parte de' mezzi limpidi e scolorati; ecco perchè ci parve conveniente di chiamare, sì l' una che l' altra proprietà della materia ponderabile, collo stesso nome di *termocrosi*, colorazione calorifica (da *termon* caldo e *crosis* colorazione) che è poi anche applicabile alle radiazioni del calore secondo tutte le norme della etimologia, e conforme alla denominazione analoga adottata nelle scienze ottiche, e nel linguaggio comune.

Questo vocabolo e la voce *diatermasia* (da *dia* a traverso e *termao* scaldare) per indicare la trasparenza calorifica de' corpi, formano la base essenziale di tutta la nomenclatura da noi proposta, al-

nero fumo ed i metalli hanno poteri assorbenti che sembrano conservare una ragione costante sia quale si voglia la natura de' raggi calorifici incidenti, nell'atto che non può dirsi lo stesso del cartone bianco e di altri corpi paragonati col nerofumo; essi hanno un potere assorbente quasi totale per rispetto ai raggi emessi da sorgenti di basse temperature, e per contro diffondono una gran parte dei raggi calorifici emessi dal sole e dalle altre sorgenti di alta temperatura.

È da ultimo fermato che il nerofumo assorbisce sempre tutt' i raggi di calorico da qualunque origine pervengono siccome assorbisce tutt' i raggi luminosi (*p* bis).

Ci ha un'altra diffusione studiata eziandio dal Melloni, quella cioè del calorico trasmesso attraverso de' corpi diatermani o termanizzanti, quando la superficie di emergenza sia alquanto scabra. Coteste superficie disperdono infatti il calorico, siccome potea prevedersi, ma non è provato che ciò non sia un semplice effetto della rifrazione che mena i raggi per ogni verso. E per fermo i raggi che in tal modo escono dal sal gemma o dal vetro hanno tutte le proprietà di quelli che uscirebbero da questi corpi aventi superficie levigata: quelli del sale hanno tutte le qualità della sorgente che gli ha emessi; e quelli del vetro sono termanizzati come doveano esserlo; non pare esserci altro fuorchè un cangiamento di direzione. Ma quello che desta molta maraviglia si è che una faccia del sale annerito col nerofumo pare che non imprima a' raggi emergenti alcun deviamento di questa natura (*q*) (*Ann. de Phys. et de Chim.*, t. LXXV p. 379 e 380.)

cuni anni sono, rispetto al calorico raggiante. Infatti da termocrosi nasce *atermocrosi* senza colorazione calorifica (da *a* privativa), *termocroico* colorato pel calore, ed *atermocroico* senza colore calorifico; da diatermasia viene *adiatermasia* senza trasparenza calorifica, *diatermico* trascalescente o diafano pel calore, e *adiatermico* privo della trasparenza calorifica. A queste due radicali si potranno finalmente aggiungere le voci *leucotermico* (da *leucos* bianco) e *melanotermico* (da *melas* nero) per esprimere i corpi opachi, bianchi o neri, rispetto al calore.

Giusta questa nomenclatura il vetro sarebbe rigorosamente parlando un corpo *diatermico termocroico*, la carta un corpo *adiatermico termocroico*. Ma imitando le analoghe espressioni usitate nella scienza rispetto alla luce, chiameremo semplicemente la prima sostanza un *mezzo termocroico* e la seconda un *corpo termocroico*: per cui il salgemma sarà sufficientemente indicato colla denominazione di *mezzo atermocroico*, ed avremo del pari un'idea chiara e distinta della proprietà di riverberare con eguale energia qualunque raggio di calore manifestata dall'argento bianchito e privo di ogni lucentezza, chiamando questa sostanza un *corpo atermocroico*.

(*p bis*) Questa proposizione era bensì ammessa dai fisici, ma non fu veramente *fermata*, cioè a dire dimostrata vera per la prima volta che nell'anziketto volume della *Termocrosi* pag. 98 e seg.

(*q*) La *maraviglia* dell'autore non può certo provenire dal vedere priva di poter diffusivo una sostanza che assorbisce ogni specie d'irradiazione calorifica; ma bensì dal fenomeno della trasmissione immediata, la quale succede a traverso lo strato di nero fumo come nel caso di una lamina trasparente e levigata.

Si noti in primo luogo che la trasmissione immediata del sale affumicato è posta fuor d'ogni dubbio colle sperienze descritte nella nota (*k*), facili a ripetersi da chiunque può disporre per alcuni istanti di un termomoltiplicatore: imperocchè l'azione calorifica si manifesta nella sola direzione del raggio; ed è affatto nulla se il termoscopio, il cui tubo sta sempre rivolto verso il foro centrale della lamina metallica, trovasi fuori della linea diretta tra la sorgente calorifica e il detto foro turato dalla piastra affumicata.

La quantità di calore immediatamente trasmessa dal sale affumicato varia moltissimo colla qualità del calor incidente, essendo in alcuni casi abbondante, ed in altri sensibilmente nulla; dunque la trasmissione calorifica non ha luogo, come dissero taluni, per gl'interstizii liberi della piastra di sale, ma sì bene per la materia stessa del nero fumo: s'aggiunga che per alcune qualità di raggi, la trasmissione succede ancora (entro certi limiti di grossezza) quando lo strato è *compiutamente opaco*: nel quale caso non si trovano al certo interstizii tali che i raggi possano passarli dall'una all'altra banda della piastra conservando la propria direzione rettilinea.

Quanto alla ragione del fenomeno, è vero che l'ignoriamo compiutamente; ma ignoriamo del pari perchè la lucentezza sia necessaria ne' casi ordinarii di trasmissione.

Non si deve poi credere il fatto totalmente nuovo e peregrino per la scienza delle radiazioni. Ve ne è anzi uno talmente triviale, da destare in noi pure una *gran maraviglia*, vedendolo sfuggito alla perspicacia dell'autore e d'altri fisici.

Chi non conosce il metodo di osservare gli eclissi e le macchie solari a traverso de' vetri affumicati mediante la fiamma di una candela? E qui pure non gioverebbe il riprodurre l'obbiezione suddetta che la trasmissione de' raggi succede per virtù de' punti della nuda superficie vitrea interposti tra le particelle di nero fumo, e non già in forza di una vera trasmissione per questa sostanza; dappoichè i corpi veduti a traverso i *reticoli* impallidiscono, conservando intatto il proprio colore, oppure danno parecchie immagini orlate di tinte prismatiche, se gli interstizii liberi frapposti tra le porzioni opache sono sufficientemente minuti: e l'immagine del sole ne' vetri affumicati non è, nè giallognola come la luce diretta, nè multipla e fregiata d'iridi, ma tinta d'un sol colore rossigno; precisamente come quando si guarda il sole coi vetri colorati.

487. *Rifrazione del calorico.* — Collocato sopra un sostegno un prisma di sal gemma (*fig.* 350) e, ad una certa distanza, una lucerna del Locatelli, si cerca la direzione del fascio di luce emergente quando il deviamento è minimo (§ 381) : ciò fatto si pongono dei piani di riparo e l'asse della pila si dispone sulla direzione de' raggi rifratti dal prisma; allora l'ago del termomoltiplicatore è deviato tosto che si rimuovono i piani anzidetti; ed il deviamento va per lo stesso verso, anche quando, invece della lucerna del Locatelli, ponesi la spira di platino, la lamina di rame a 400°, o anche il piccol cubo pieno di acqua bollente; il deviamento cessa se si volge un poco la pila per metterla fuori del raggio rifratto: il calorico dunque di queste diverse sorgenti è rifratto dal salgemma, e l'indice di rifrazione non differisce molto da quello della luce.

Un' altra conseguenza della rinfrangibilità del calorico, assicurata dell' esperienza, è la riflessione totale che esso patisce alla seconda superficie d'un prisma di salgemma, quando l'incidenza giunge ad un certo limite.

488. *Polarizzazione del calorico.* — Ai due estremi del tubo simile a quello della figura 304 si pongono sopra i rispettivi sostegni delle pile di lamine composte di otto o dieci sottilissime falde di mica, con gli assi di polarizzazione perfettamente paralleli. Innanzi a questo tubo sta la sorgente del calorico posta nel fuoco d'una lente di salgemma, in modo che il fascio emergente composto di raggi paralleli vada ad attraversar successivamente le due pile di mica; la pila termo-elettrica è disposta in modo da ricever l'impressione del calorico trasmesso. L' inclinazione delle lamine si può far variare sull' asse del tubo, ch' è anche quello del fascio del calorico, e facendo volger l'assetto dell' ultima pila di mica si può, senza mutarne l'obbliquità, mettere il suo piano di rifrazione parallelo o perpendicolare al piano di rifrazione della prima; queste due giaciture debbon dare dei raggi trasmessi assai disuguali, se il calorico si è veramente polarizzato attraversando le pile di mica. Ora l'esperienza rende aperta tale ineguaglianza siccome nella seguente tavola si può osservare:

Inclinazione delle pile sulla direzione dei raggi — Pile di 10 lamine	TRASMISSIONI CALORIFICHE quando i piani di rifrazione sono: Paralleli — Archi d'impulso	Paralleli — Forze	Perpendicolari — Archi d'impulso	Perpendicolari — Forze	Quantità di calorico polarizzato sopra 100 raggi trasmessi nel caso del parallelismo dei piani di rifrazione
45°	29°,8	26,5	17°,2	14,9	43,7
43	31 ,4	28,5	16 ,5	14,3	49,8
41	33 ,3	30 2	15 ,4	13,3	56,0
39	35 ,2	31,6	14 ,0	12,2	61,6
37	36 ,5	32,5	12 ,3	10,8	66,6
35	36 ,9	31,9	10 ,6	9,3	71,9
33	36 ,7	32,8	9 ,0	7,8	76,3
31	33 ,8	30,8	7 ,0	6,1	80,3
29	30 ,9	28,0	5 ,3	4,6	83,6
27	27 ,9	24,3	3 ,8	3,3	86,6
25	23 ,2	19,9	2 ,4	2,1	89,2
23	17 ,7	15,3	1 ,6	1,4	91,1

Abbiamo scelta questa serie tra molte altre contenute nella memoria del Melloni, le quali tutte conducono allo stesso risultamento. Il che permette di conchiudere che la porzione di calorico polarizzato cresce con l'obbliquità, ma che con un gran numero di lamine nelle pile si perviene ad un massimo che tiensi costante per tutte le maggiori obbliquità, l'inclinazione per la quale questo massimo incomincia essendo tanto più grande quanto maggiore è il numero delle lamine.

Il prof. Forbes, che ha fatto egli pure spe-

menze interessanti sul proposito, aveva creduto che la proporzione di calorico polarizzato crescesse con la temperatura della sorgente: ma il Melloni ha dimostrato che ciò non è dai fatti comprovato, e che se pare che sia quando si adoperano le turmaline, questo deriva dai vari colori e dal vario termanismo delle medesime. (r)

(r) Queste troppo brevi parole del Pouillet esigono alcune dichiarazioni. Il prof. Forbes deduceva la sua proposizione da due argomenti 1º la *polarizzazione variabile* da esso lui ottenuta colle pile di mica: 2º le *variazioni di polarizzazione* manifestate dalle turmaline.

Esponendo a varie sorgenti di calore una coppia di pile micacee costantemente inclinate sotto lo stesso angolo, e voltando i loro piani di rifrazione talora paralleli e talora perpendicolari, egli vide sparire nel caso della perpendicolarità una proporzione di calore, la quale cresceva colla temperatura della sorgente. Ora è da sapersi che il dotto fisico di Edimburgo formava le sue pile di mica gittando ne' carboni roventi una lamina di questa sostanza, la quale presa dal calor repentino suddividevasi di per sè stessa in una serie di esilissime faldicine, più o meno larghe, e più o meno staccate tra loro. Questo metodo di divisione spontanea fa sì che le facce non sono mai tutte lisce e speculari; per cui le porzioni appannata devono necessariamente produrre sugli effluvi calorifici il fenomeno della diffusione. E di fatto studiando questo fenomeno nei mezzi diatermici le cui superficie si sono rese diffusive coll'attrito dello smeriglio, apparisce chiaramente; 1º che i raggi delle sorgenti a temperatura elevata vi patiscono, come ne' corpi candidi, una diffusione molto più energica de' raggi provenienti da basse temperature: 2º che la porzione di calore delle sorgenti inferiori, la quale non ha subita la diffusione, penetra la superficie smerigliata, e si propaga di là conservando prossimamente la direzione iniziale.

Quindi nel caso delle pile dal Forbes sottoposte ai raggi delle sorgenti di alta temperatura, la porzione di calore trasmessa dai punti appannati soffrirà la diffusione, si dileguerà ad una piccola distanza, ed il termoscopio destinato ad esplorare la quantità di calor trasmesso ricevendo que' soli raggi polarizzati che han traversate le parti lucide fornirà, per quella data inclinazione, il vero *indice di polarizzazione* dovuto al numero di lamine ond' è composto il sistema micaceo. Nel caso poi delle sorgenti a temperatura poco elevata, la porzione di calore proveniente dai punti appannati non si diffonderà, *nè verrà polarizzata*, ma traverserà il sistema in egual quantità, qualunque siasi la posizione delle lamine intorno all' asse di rotazione, arriverà sul termoscopio, ed aggiungendo un' *azione costante* all' azione variabile de raggi provenienti dalle porzioni pulite, diminuirà la differenza tra le due quantità di calore dovute alla disposizione parallela ed alla disposizione normale dei piani di rifrazione delle due pile; e darà un indice di polarizzazione inferiore a quello che risulterebbe da una egual serie di lamine terse e lucida in ogni punto della loro superficie.

Tutto ciò è pienamente confermato dall' esperienza, poichè le pile formate di lamine rigate col punteruolo, o stropicciate collo smeriglio, e quindi diffusive in alcuni punti, polarizzano come le pile lustre e polite dappertutto, certi raggi vibrati dai corpi arroventati, e fanno sparire coll' incrociamento dei piani di rifrazione una quantità di calore tanto minore quant' è più bassa la temperatura della sorgente calorifica. Dunque le differenze di polarizzazione notate dal Forbes sulle sue pile micacee non sono reali ma semplicemente *apparenti*. E di fatti, operando con lamine ben terse e lucide in tutta la loro estensione, si trova che la medesima coppia di pile polarizza sempre la stessa proporzione della radiazione incidente, qualunque sia la sorgente di calore o la natura de' mezzi traversati dai raggi prima di giugnere sull' apparecchio polarizzante. Passiamo al secondo argomento.

Tutti conoscono ormai la curiosissima esperienza di polarizzazione offerta dalle due piastre di turmalina, le quali sovrapposte lascian libera la visione o l' intercettano compiutamente, secondo che si dispongono gli assi ottici paralleli o perpendicolari tra loro. Un effetto analogo osservasi anche relativamente al calore. I due fenomeni offrono però le differenze seguenti: 1º, quelle medesime turmaline incrociate che arrestan tutta la luce trasmessa, spengono una debole proporzione di calorico raggiante: 2º, l' azione polarizzante delle turmaline, che nel caso ottico è costante ed uguale per qualunque luce colorata, diventa sì variabile rispetto al calore che, nel medesimo sistema di lamine, alcune radiazioni danno uno o due centesimi di polarizzazione, ed altre novantasei! Questi fenomeni sono dovuti alla forza assorbente del mezzo attraversato dai raggi calorifici, e riescon facili a spiegarsi, qualora si voglia por mente al modo con cui la polarizzazione si rende sensibile nelle lamine di turmalina.

Un raggio di luce che penetra perpendicolarmente nella sostanza di queste lamine si partisce in due fascetti polarizzati tra loro ad angolo retto e sovrapposti, come succede nelle piastre di spato islandico, o di qualunque altro mezzo in cui ha luogo il fenomeno della doppia rifrazione. La luce emergente dalla lamina non offrirebbe nessun segno apparente di polarità se i due fascetti elementari che la compongono fossero dotati della medesima energia; perchè tali fascetti di luce, quantunque compiutamente polarizzati, essendo sovrapposti offrirebbero, per la perpendicolarità dei loro piani di polarizzazione, le medesime proprietà in qualunque punto della sezione.

Ma dalle precise sperienze del Biot risulta che il raggio *ordinario* vien tutto assorbito nell' interno della turmalina; il raggio *straordinario* rimane dunque isolato all' emergenza, ed offre spiegata la sua propria polarizzazione. Ora, per la luce, l' assorbimento differenziale della turmalina è indipendente dalla qualità del raggio incidente. Ma rispetto al calore le cose camminano altrimenti: poichè la turmalina assorbisce più o meno l' uno dei due raggi risultanti dalla doppia rifrazione secondo che il raggio incidente ha tale o tale origine, o emerge dall' una o dall' altra lamina termocroica; e l' ef-

488 bis. *Analisi calorifica dello spettro solare.* — Fu da prima creduto, dietro alcune sperienze troppo mal ferme, che il calorico dello spettro fosse proporzionale al suo potere illuminante; ma Herschel, nel 1800, fece conoscere che ci ha de' raggi di calorico al di là del rosso estremo, e che il massimo si trovi appunto fuori di questo limite e non già nel giallo. Seebeck più tardi facea vedere come il punto del massimo varia con la natura delle sostanze onde i prismi sono formati: per cui egli trovava che il *flint* inglese lo fa comparire alquanto fuori del rosso, il *crown* dentro o presso al limite; l'alcool e l'acido solforico nell'arancio; l'acqua nel giallo. Il Melloni prese in disamina una tale quistione nel 1832; anzi questa fu l'occasione che lo guidò alle sue belle scoperte sul calorico raggiante; e pubblicò di recente un lavoro in cui l'analisi calorifica dello spettro è posta sotto un aspetto interamente nuovo. Egli fece sotto il bel cielo di Napoli molte sperienze dalle quali conchiude esservi in così fatte ricerche tre grandi cagioni di errore: 1° la posizione del massimo e la legge di diminuzione partendo da esso sono alterate, quando non si adoperi un termoscopio molto stretto secondo la lunghezza dello spettro, perocchè altrimenti hassi un effetto compleso risultante da raggi di rifrangibilità troppo diverse. 2°, il prisma di salgemma che si espone a' raggi diretti del sole, deve esssere eziandio molto stretto: senza di questo si ottiene uno spettro che deve considerarsi come composto di molti spettri elementari sovrapposti, i quali si sorpassano successivamente nel modo espresso dalla figura 207; una zona traversale allora contiene de' raggi luminosi e calorifici di rifrangibilità diversissime; 3° finalmente quando in vece di adoperare un prisma di sale se ne adopera uno di altra materia, si ha una parte più o meno grande di calorico assorbito; e siccome questo può appartenere a zone di diversa rifrangibilità, ne siegue un'altra maniera di cangiamento nell'intima essenza dello spettro calorifico nell'atto che lo spettro luminoso resta quasi lo stesso. Evitando tutte queste cagioni di errore, Melloni trova il massimo calorifico sull'estremo del rosso per tutte le materie incolori, e perviene a questa conclusione, che «le irradiazioni luminose spoglie di ogni irradiazione eterogenea hanno un calore proprio che patisce perfettamente le stesse vicissitudini, in modo che le varie fasi di un dato raggio di luce semplice possono misurarsi indifferentemente mercè le sue relazioni luminose o calorifiche.»

Laonde la luce ed il calorico non solo consisterebbero nel raggio solare ma sarebbero una cosa sola. Coteste nuove sperienze del Melloni sono senza dubbio degne di molta attenzione, ma non mi sembrano ancora bastanti per decidere questa gran quistione. (*)

flusso trasmesso dalla coppia delle turmaline apparisce pertanto più o o meno polarizzato.

Concludiamo, che anche le differenze osservate nelle turmaline si spiegano benissimo coll'assorbimento più o meno energico di una porzione del calor incidente; e rimane quindi distrutta l'ipotesi di una varia attitudine dei raggi calorifici alla polarizzazione, la quale ipotesi, viste le leggi secondo cui si riflettono si rifrangono e si disperdono le irradiazioni calorifiche, e l'indole delle forze polarizzanti sviluppate nelle incidenze oblique della luce sui mezzi diafani, è talmente opposta alla natura di questi fenomeni, che reca veramente maraviglia come il dotto professore d'Edimburgo abbia potuto sostenerla per tanto tempo

(*) Prima di entrare in alcuna considerazione su questa opinione dell'autore giaverà osservare che le sperienze allegate in questo periodo riguardano i soli raggi dello spettro visibile newtoniano, e non già le irradiazioni situate oltre il limite rosso. Quindi è bensì vero che in tutti gli spettri puri provenienti da prismi di vetro, d'alcool, d'acqua, il calore va sempre aumentando dal violaceo al rosso: per cui l'ultima zona rossa è necessariamente più calda di qualunque altra zona colorata. Ma non ne viene di conseguenza che nel rosso stia sempre il *massimo* di temperatura dello spettro solare. Anzi operando con tutte le possibili cautele si trova che nello spettro fornito da un prisma di salgemma il massimo calore è sempre situato nello spazio oscuro, ad una distanza presso a poco uguale a quella che separa il giallo dal rosso nell'interno dei colori; nello spettro proveniente dal flint-glass inglese il massimo è tuttavia situato di là dal rosso, ma assai più vicino al limite visibile dello spettro: la vicinanza del massimo al rosso è anche maggiore nello spettro derivante da un prisma d'alcool: finalmente nello spettro risultante da un prisma d'acqua, il massimo calore coincide col rosso estremo.

Dunque variando la qualità del corpo limpido e scolorato di cui è composto il prisma si cambia bensì la distribuzione del calore nella *parte invisibile* dello spettro, ma le temperature relative dei colori, ossia di tutta la *parte visibile* dello spettro, rimangono costanti. E però, *l'azione differenziale dei mezzi termocroici sui diversi elementi calorifici che compongono la radiazione solare è tutta relativa ai raggi invisibili.*

Si trasmetta ora l'efflusso raggiante di una vigorosa sorgente artificiale calorifica e luminosa per uno strato di 15, o 20 millimetri d'acqua, e si studii l'effetto che producono sulla irradiazione emergente le interposizioni successive delle lamine di vetro, d'allume, di cristallo di monte, di salgemma ed altre sostanze diatermiche, termocroiche o atermocroiche, ma perfettamente pure, limpide e

§. III. *Leggi del raffreddamento, quantità di calorico emesso, e condizioni generali dell' equilibrio di temperatura.*

Da che il Newton prima di ogni altro pose alcuni principi sul raffreddamento de' corpi, i più dotti fisici han fatto sperienze e matema-tiche ricerche su tale argomento. La quistione intanto rimanea avvolta fra tante insuperabili difficoltà, che appena erasi fatto qualche passo incerto verso il suo scioglimento, quando Dulong e Petit riuscirono a darne una compiuta risoluzione: il loro lavoro coronato dall' Accademia delle Scienze nel 1818, è un mo-

scolorate: si troverà che tutte si lasceranno traversare dalla stessa quantità di calore. Esposto alla medesima radiazione un recipiente di vetro, a facce piane e parallele, pieno d'acqua leggermente annerita con alcune gocciole d'inchiostro; e valutate, coi noti metodi, le proporzioni di luce e di calorico raggiante trasmesse dalla soluzione, esse risultano uguali, qualunque siasi la quantità d'inchiostro infuso nell'acqua. Due piastre della medesima grossezza, l'una di cristallo di monte fosco e scuro, l'altra della stessa sostanza limpida e chiara, le quali trasmettono sensibilmente la medesima quantità di calor diretto (*vedi la tavola del* n. 481), cambiano, per così dire di natura rispetto alla facoltà di trasmissione calorifica sotto l'azione dell' efflusso emergente dall' acqua, e diventano diversamente permeabili al calorico raggiante, la più fosca trasmettendo assai meno dell'altra; e le quantità trasmesse offrono lo stesso rapporto delle quantità di luce che passano a traverso i due cristalli. Finalmente, le sostanze compiutamente opache e tuttavia diatermiche per la radiazione diretta, cioè le lamine sottili di vetro nero, di mica, d'ossidiana, e di sale affumicato colla fiamma di una candela, esposte alla radiazione emergente dall'acqua intercettano tutta la luce e tutto il calorico.

Trattandosi di raggi diretti, noi vediamo pertanto; che certi corpi opachi sono trasparenti pel calore; che alcune sostanze semi-trasparenti trasmettono la stessa quantità di calore di certe sostanze interamente diafane; e che quasi tutti i mezzi perfettamente limpidi e scolorati presentano delle differenze grandissime di trasmissione calorifica. *Ora tutte queste differenze tra le due trasparenze spariscono compiutamente per l'irraggiamento emergente dall' acqua, che sappiamo scevro di qualunque raggio calorifico oscuro.*

Il fenomeno della termocrosi è dunque relativo alle sole radiazioni invisibili; e tolte di mezzo queste radiazioni, le leggi della trasparenza diventano uguali per la luce e pel calorico concomitante.

Rammentando poi che ogni sorta di radiazione calorifica oscura, persin quella che muove dal corpo umano o da un vaso pieno d'acqua tiepida, segue la via rettilinea e percorre un tratto qualunque dell' atmosfera in un istante impercettibile; traversa il vacuo e certi corpi solidi sotto forma raggiante, rettilinea, senza che l'agitazione delle particelle ponderabili possa sviarla dal suo cammino, o renderne men copiosa la trasmissione; si riverbera specolarmente sui corpi tersi e levigati; si diffonde per ogni dove sulle superficie prive di lucentezza; si rifrange e si disperde cadendo obbliquamente sui mezzi solidi atti a trasmetterla; e si polarizza secondo quelle stesse norme che seguono le radiazioni lucide; dobbiamo necessariamente conchiudere.

1.° Che le radiazioni oscure di calore sono dotate di proprietà generali e speciali perfettamente simili alle proprietà generali e speciali de' raggi lucidi.

2.° Che l'azione calorifica de' raggi lucidi privi delle radiazioni oscure va soggetta alle medesime vicende della luce.

Dunque la sola qualità propria alle radiazioni lucide si è la *visibilità*. Ora non vuolsi concedere a questo carattere distintivo de' due agenti tutta quella importanza che ci pare sì evidente; imperocchè qui non è quistione dell' utile arrecato all' umanità ed agli enti animati in generale, ma sì bene delle qualità proprie alla classificazione delle specie raggianti. Faremo inoltre osservare che, alcune persone non vedono gli ultimi raggi violacei dello spettro; che altre non distinguono il rosso dal verde, il giallo dal turchino: ora *queste proprietà opposte non possono evidentemente appartenere nello stesso tempo al medesimo raggio:* dunque esse dipendono dal puro organismo animale, e non hanno che poco o niun valore come caratteri intrinseci delle radiazioni.

Rimossa questa difficoltà ognun vede che le differenze restanti son tutte specifiche; e che v'è tanto divario tra un raggio di calor oscuro ed un raggio di luce, quanto se ne trova tra due raggi lucidi di diverso colore. Non s'intende dunque perchè la quistione sembri indecisa al Pouillet. Quanto a noi, non esitiam punto a dichiarare che ci pare ampiamente dimostrato, o almeno infinitamente probabile; che le sorgenti di calore e di luce forniscono una gran quantità di raggi *diversamente colorati*; che tutte queste specie raggianti sono calorifiche; che alcune soltanto posseggono la proprietà di operare efficacemente sull'organo della vista: e che, per conseguenza, *la luce può francamente definirsi una serie visibile di raggi calorifici*.

L'esistenza di un agente composto di vari elementi, alcuni de' quali si manifestano ad un dato senso; ed altri no, non è nuova in natura; poichè le onde eccitate nell'aria dalle vibrazioni de' corpi, udibili entro certi limiti di ampiezza, riescono del tutto impercettibili all' orecchio quando le vibrazioni soverchiamente rapide o soverchiamente lente del corpo sonoro, le rendono troppo brevi o troppo lunghe.

La visibilità di quella serie di raggi calorifici che costituisce la luce non offre dunque nessuna difficoltà a concepirsi; e serve anzi ad intendere perfettamente perchè il calore dei raggi visibili purgati dalle radiazioni oscure, è sottoposto a quelle medesime leggi di trasmissione e di diffusione che osservansi nella luce.

Ma perchè mai queste due proprietà cambiano per tutta la serie dei raggi invisibili? perchè, in altri termini, la *trasparenza* e la *bianchezza*, relativa-

dello di esattezza e d' invenzione che i giovani fisici non istudieranno mai con troppa diligenza.

mente all' intera classe de' raggi oscuri, differiscono dalla trasparenza e dalla bianchezza ordinarie ?

La quistione si presenta sotto un aspetto che sembra ostile alla comune origine delle specie visibili ed invisibili: eppure in essa trovasi forse il più magnifico argomento della loro identità. E veramente, le leggi della diatermasia e della termocrosi essendo perfettamente analoghe a quelle della trasparenza e della colorazione, ogni qual volta trattasi di queste leggi noi possiamo applicare al calore quanto ci accade di vedere sulla luce. Ora i mezzi colorati trasmettono alcune radiazioni luminose ed assorbiscono le altre. S' immagini pertanto un mezzo che estingua per assorbimento tutte le radiazioni visibili, e trasmetta alcune delle radiazioni insensibili all' occhio : avremo un corpo *opaco e diatermico*. Suppongasi una sostanza, le cui molecole superficiali rimandino ugualmente per diffusione tutti gli efflussi sensibili alla vista ed assorbiscano certi efflussi calorifici oscuri : tale sostanza sarà *bianca e termocroica*. Suppongasi un mezzo che trasmetta liberamente ogni maniera d' irradiazione percettibile alla vista e trattenga soltanto alcune delle specie impercettibili : siffatto mezzo sarà, esso pure, *scolorato e termocroico*. Finalmente il mezzo sarà *scolorato e atermocroico* se, come l' aria atmosferica ed il salgemma, egli è capace di trasmettere nella medesima proporzione qualunque specie di raggio, visibile o invisibile.

S' intende poi che i corpi bianchi termocroici, ed i mezzi termocroici privi di qualunque colore sono veramente e propriamente colorati per riguardo all' agente che, secondo le idee da noi adottate, supponiam composto di altrettanti elementi quante sono le specie di raggi vibrati dai corpi caldi e luminosi. Ma siffatta colorazione non è, nè può essere percettibile, perchè relativa alle sole radiazioni oscure incapaci di operare sull' organo della vista. Col principio della identità, la termocrosi dei mezzi limpidi e dei corpi candidi diventa pertanto una pura conseguenza della nostra fisica costituzione : nella ipotesi dei duo agenti, essa costituisce un fenomeno *sui generis*, che non si può scomporre in principî elementari, nè riferire a nessun fatto anteriormente noto, e che non è, per conseguente, suscettivo d' alcuna spiegazione. Lo stesso argomento si applica manifestamente alla cagione per cui i raggi di calore van soggetti alle medesime leggi di propagazione, riflessione, diffusione, rifrazione, dispersione, e polarizzazione de' raggi di luce. E se i fenomeni d' *interferenza* sono ancora da verificarsi nelle radiazioni calorifiche, non ne risulta perciò una obbiezione contro l' identità dei due agenti ; essendo pura colpa dell' arte che non ha saputo sinora rinvenire strumenti idonei a siffatto genere di esperienze. Anzi, il complesso delle proprietà già noto rispetto alle irradiazioni di calore e di luce, rende oltremodo probabile, per non dir certo, che presto o tardi si porrà fuor d' ogni dubbio, con esperienze dirette, che i *raggi calorifici, oscuri o luminosi, interferiscono secondo le stesse precise leggi de' raggi lucidi*.

Chiunque abbia letto con qualche attenzione questo noto, si sarà convinto che nella nostra teorica *non si dà luce senza calore*.

489. *Legge del raffreddamento nel vuoto.*— Per fare le osservazioni sul raffreddamento e per conoscerne le leggi, Dulong e Petit hanno

Le irradiazioni lucide apparentemente fredde sono tali perchè spogliate dei loro elementi più caldi; o perchè tanto indebolite, per virtù della lontananza, da non poter più operare calorificamente sull' organo del tatto, e sugli strumenti termoscopici.

Quindi, facendo passare la radiazione delle più vivide fiamme per uno strato d' acqua contenuto tra due lamine di quella specie particolare di vetro verde che assorbisce una gran porzione de' raggi gialli e ranci e tutti i rossi, se ne ricava un efflusso di luce sensibilmente fredda, non solo a giudizio del tatto, ma anche di moltissimi de' più delicati termoscopi. Tuttavia aumentando gradualmente la squisitezza di così fatti strumenti si trovano finalmente in quest' efflusso luminoso alcuni indizii calorifici. E non deve punto recar maraviglia se tali indizii sono oltremodo languidi: imperocchè l' irradiazione delle fiamme contiene nove decimi almeno di calor oscuro, ed il calore de' raggi gialli ranci e rossi supera immensamente la somma del calore di tutti gli altri elementi lucidi : ora l' acqua assorbisce appunto tutte le radiazioni oscure, ed il vetro verde che la contiene, tutto il rosso ed una gran parte del rancio e del giallo: non resta dunque che una radiazione lucida di tanto bassa temperatura, da non poter più rendersi manifesta nè anche per virtù della concentrazione.

Osservando di notte un lume rimoto, conveniam tutti tacitamente che le sue radiazioni sono calorifiche: eppure i nostri più squisiti strumenti termoscopici avvicinati persino a pochi passi da esso lume, resterebbero quieti e muti. Questa considerazione doveva pur guidare coloro che dichiararono fredda la luce lunare, e posero questo *fatto negativo* quale obbiezione al principio della identità. Ma perchè un lume produce una viva impressione sugli occhi nostri, non ne risulta perciò che debba palesarci il proprio calore. L' organo della vista è così fattamente costruito, che modifica di per sè stesso la propria sensibilità a norma della forza lucida della sorgente ; ed è pertanto capace di farci scorgere distintamente la massima parte degli oggetti, tanto alla luce del Sole, quanto al lume 300000 volte inferiore della Luna. Questa prodigiosa attitudine non è certo da sperarsi dall' organo del tatto, nè dai migliori de' nostri apparecchi termoscopici : e però l' obbiezione tratta dalla freddezza del lume della luna non ha nessun valore. Tuttavia volemmo togliere quest' ultimo rifugio ai fautori dei due agenti, e vi riuscimmo concentrando i raggi lunari mediante una gran lente a scaglioni d' un metro di diametro, e facendoli cadere così condensati, sulla pila termoscopica di un buon termo-moltiplicatore preparato in guisa da sottrarlo alle azioni perturbatrici della radiazione celeste e delle correnti d' aria fredda, tanto facili a prodursi di nottetempo. Ottenemmo per tal modo *un effetto indubitabile e costante di calore* che ascese persino a $4^{\circ},8$ del quadrante nelle circostanze più favorevoli. L' esperienza, ripetuta in presenza dei professori Belli,

fatto uso del seguente metodo: *a* (*fig.* 358) vase di rame pieno di acqua tenuta a temperatura costante agitandola e rinnovandola opportunamente; *b* globo di rame di 30 centimetri di diametro, annerito al di dentro e sospeso in un bagno ove è mantenuto dalle traverse *c*; *d* otturatore di vetro grosso, a facce spianate; una di queste facce si applica sugli orli larghi e bene appianati dell' orifizio del globo, l' altra riceve il grosso tubo di vetro *e*, come il piatto della macchina pneumatica riceve una campana; questo tubo o piuttosto questa campana *e* porta una chiavetta *f*; *g* tubo di piombo che apre la comunicazione tra il globo ed una macchina pneumatica di cui si è espresso solo il piatto *h*; *k* tubo di cloruro di ca cio ordinato a render secco il gas che viene dalla grande campana *l* nel globo, quando vuolsi osservare il raffreddamento ne' vari gas. I corpi che pongonsi a raffreddare sono grandi termometri a serbatoio sferico, uno di 3 e l' altro di 6 centimetri di diametro; i loro tubi sono finissimi in tutta la lunghezza che resta nel globo, ma la parte di sopra è larga in guisa che la dilatazione corrispondente ad 1° non v' occupi più di un millimetro e mezzo. Questi termometri stan fermati nell' otturatore *d* mercè un turaccio e si levan con esso: si fanno arrivare a 100, 200, 300° riscaldandoli con le cautele dinotate nella figura 359.

Quando son giunti alla temperatura che si conviene, presto si recano nel globo; si pone la campana *e* sull' otturatore; si fa sollecitamente il vuoto, poco dopo si nota lo *zero* del tempo e la temperatura corrispondente al termometro esposto al raffreddamento: l' eccesso di questa temperatura sopra quella del recipiente sarà l' eccesso iniziale; continuando poi il raffreddamento si osservano gli eccessi di temperatura ad intervalli di tempo più o meno brevi, guardando sul cronometro il momento che corrisponde giusto all' eccesso osservato. In tal modo per ogni esperienza si ha una lunga serie di risultamenti. Riferiremo qui a modo di esempio la seguente serie in cui la temperatura dello spazio era di 12°

Tempo	Temperature osservate	Eccessi di temperature
0	50°	38°
2 38"	48	36
5 26	46	34
8 23	44	32
11 32	42	30
14 53	40	28
18 31	38	26
22 25	36	24
26 41	34	22
31 18	32	20

Trovare la legge del raffreddamento è lo stesso che scoprire la relazione matematica tra cotesti risultamenti, non già per una sola esperienza ma per tutte le sperienze analoghe a questa.

Newton suppose che questa legge potesse essere espressa dalla formola

$$t = c\, b^{-z}$$

essendo *c* l' eccesso iniziale, *z* il tempo trascorso, *t* l' eccesso di temperatura corrispondente, e *b* una costante particolare variabile da un corpo ad un altro.

La velocità *v* del raffreddamento altro non è fuorchè la ragion che passa tra l' abbassamento di temperatura in un tempo brevissimo e questo tempo medesimo, ovvero il coefficiente differenziale dell' eccesso di temperatura per rispetto al tempo, vale a dire $\frac{-dt}{dz}$ (perocchè la temperatura scema col crescere del tempo); dopo ciò la sua espressione si ricava agevolmente dalla precedente formola, mercè una semplice differenziazione e si avrà

$$v = t \log' b.$$

È mestieri avvertire che $\log' b$ qui è un logaritmo neperiano; ma quando conoscesi il logaritmo decimale di *b* ossia $\log b$, basterà moltiplicarlo per lo modulo *M*, il cui valore come è risaputo, è 2, 302585, per farne un logaritmo neperiano; onde

$$\log' b = M \log b;$$

e l' espressione della velocità diventa

$$v = Mt \log b.$$

La legge di Newton dunque è espressa dalle due equazioni

$$(1) \qquad t = cb^{-z};\ v = Mt \log b.$$

La prima è *quella de' tempi*; essa esprime la ragione che passa tra gli eccessi di temperatura ed i tempi trascorsi; e dimostra che il tempo *z* crescendo in progressione aritmetica o ad eguali intervalli, gli eccessi *t* decrescono in progressione geometrica. E per fermo per $z = 0;\ 1;\ 2;\ 3,$ ec. si ha $t = c;\ cb^{-1};\ cb^{-2};\ cb^{-3}$, ec.

Mossotti e Lavagna, riuscì sotto varie fasi della Luna, e in diversi mesi dell' anno; per cui il lume dell' astro notturno essendo dimostrato calorifico; non v' ha più nessun esempio di radiazioni incide senza calore; e *la luce fredda rimane definitivamente esclusa dalla scienza.*

progressione il cui primo termine è c, e la cui ragione è b^{-1}.

La seconda equazione è quella *delle velocità*; essa dice che le velocità sono proporzionali agli eccessi di temperatura, e che il coefficiente di questa proporzionalità è $M \log b$.

Per sapere se la legge di Newton sia veramente la legge del raffreddamento, basterà applicarla alle sperienze e vedere se essa le rappresenta. Ci faremo ad indicare il modo come fannosi coteste applicazioni. b è la sola cosa sconosciuta nelle nostre formole, che distingue il corpo sul quale si opera: il suo valore si ricava dalla prima delle equazioni (1) la quale dà

$$(2) \qquad \log b = \frac{\log c - \log t}{z}.$$

Nella serie da noi presa per esempio, $c=38$; e se dopo prendiamo l'ultima osservazione (tav., pag. 220) avremo nello stesso tempo

$t=20$ e $z=31' \; 18''=31,3$,

il che dà $\log b=0.0089058$.

Se la legge di Newton fosse perfettamente giusta si dovrebbe ricadere perfettamente sopra questo stesso valore di $\log b$, prendendo una qualunque delle osservazioni registrate nella tav. della pag. prec., la seconda, per esempio, per la quale $t=36$ e $z=2' \, 38''$; ovvero la 5ª o qualunque altra. O anche, che vuol dire lo stesso, con questo valore di $\log b$, si possono successivamente calcolare tutti gli eccessi corrispondenti a' varî valori di z; cioè 2′ 38″, 5′, 26″, ec. e paragonarli agli eccessi osservati 36°, 34°, ec. Se tutti gli eccessi sono fedelmente riprodotti, la legge è giusta, altrimenti esprimerà un' approssimazione più o meno degna di esser ritenuta. Ora facendo cotesti computi si trova che i risultamenti non si allontanano molto dal vero; per la qual cosa entro questi limiti la legge di Nwton pare degnissima di applicazione, ed i valori delle velocità che si caverebbero dalla seconda delle equazioni (1) sarebbero appunto le velocità di raffreddamento.

Ma quando gli eccessi di temperatura oltrepassano 40°, gli errori crescon molto rapidamente, e non si può più rappresentare un' intera serie con lo stesso valore di $\log b$.

Questo fatto era stato avvertito da Martine e da Erxleben; per cui Dulong e Petit dal bel principio delle loro ricerche modificarono queste formole per avere la possibilità di connettere e paragonare i loro risultamenti. Essi adottarono

$$(3) \qquad t = c b^{mz + nz^2}$$

per la formola che connette gli eccessi col tempo, e però

$$(4) \qquad v = t\,(m + 2\,nz)\; M \log b$$

per la formola che connette le velocità con gli eccessi.

Allora per mettere a prova queste nuove formole, nella serie dei risultamenti che, siccome abbiam veduto, compongono un' osservazione di raffreddamento, si prendono tre eccessi che non siano tra loro molto lontani col tre tempi corrispondenti, e sostituendoli nella prima formola con l' eccesso iniziale c, si hanno tre equazioni per calcolare le tre costanti b, m, n, le quali hanno la formola seguente

$$\log t - \log c = (mz + nz^2) \log b;$$

dividendole a due a due si fa sparire $\log b$, e si hanno due equazioni tra m ed n: conosciute queste due costanti, è agevole ottenere il valore di $\log b$ mercè una delle prime equazioni. Allora la formola (4) dà le velocità di raffreddamento che corrispondono ai varî eccessi. Ciò non pertanto le serie che comprendono un gran numero di osservazioni, che si estendono per esempio dagli eccessi di 250, o 300° fino a quelli di 20 o 30°, non possono essere calcolate con le medesime costanti. In tali congiunture si dividono in tre o quattro parti da 300 a 200, da 200 a 100, da 100 a 20 e si calcolano separatamente le costanti per ciascuna di queste parti. S' intende che operando in tal guisa si giunge ad avere delle velocità molto precise per tutta l' estensione di ciascuna serie; son queste che chiamiamo *velocità osservate*, perciocchè veramente si ricavano immediatamente dall' osservazione.

Ecco ora i risultamenti ottenuti sopra cinque serie fatte con lo stesso termometro, avente la stessa superficie vitrea e gli stessi eccessi sulla temperatura del recipiente, avendo questo per altro diverse temperature per ciascuna serie, cioè 0° per la prima, 20° per la seconda, ec.

Eccessi di temperatura del termometro a superficie vitrea.	Velocità di raffreddamento				
	il reciipente a 0°	il recipiente a 20°	il recipiente a 40°	il recipiente a 60°	il recipiente a 80°
240°	10°,69	12°,40	14°,35	«	«
220	8, 81	10, 41	11, 98	«	«
200	7, 40	8, 58	10, 01	11°,64	13°,45
180	6, 10	7, 04	8, 20	9, 65	11, 05
160	4, 89	5, 67	6, 61	7, 68	8, 95
140	3, 88	4, 57	5, 32	6, 14	7, 19
120	3, 02	3, 56	4, 15	4, 84	5, 64
100	2, 30	2, 74	3, 16	3, 68	4, 29
80	1, 74	1, 99	2, 30	2, 73	3, 19
60	»	1, 40	1, 71	1, 88	2, 17

Si vede che per lo stesso eccesso la velocità di raffreddamento non è indipendente dalla temperatura del recipiente: questa velocità cresce rapidamente in ragione che si eleva la temperatura del recipiente; nel recipiente ad 80°, per esempio, è quasi il doppio di quello che è nel recipiente a 0°. Egli è agevole inoltre il conoscere che la ragione delle velocità delle due serie è costante per tutti gli eccessi, e che se esprimesi con r, paragonando la seconda serie con la prima diventerà r^2, paragonando la terza con la prima r^3, ed r^4 paragonando la quarta e la quinta anche con la prima. Laonde quando la temperatura del recipiente cresce in progressione aritmetica la cui ragione è 20°, la velocità di raffreddamento crescerà in progressione geometrica la cui ragione sarà r, il valore di r essendo 1,165.

Fu questo capitale risultamento che guidò Dulong e Petit alla vera legge del raffreddamento.

E per fermo osserviamo che la velocità data dall'osservazione non è altro se non che la differenza tra l'*assoluta velocità* di raffreddamento che il corpo soffrirebbe se non ricevesse niente e la *velocità di riscaldamento* che gli dà il recipiente col calorico che gli manda. Or nel caso dell'equilibrio, la velocità di riscaldamento comunicata dal recipiente essendo eguale alla velocità assoluta di raffreddamento del corpo, e l'equilibrio componendosi così a tutte le temperature, chiaramente si vede che coteste due contrarie velocità son soggette alla stessa legge, e che questa legge non può differire da quella che abbiam posta per r ispetto alla velocità osservata.

Sia dunque m l'assoluta velocità di raffreddamento del corpo per la temperatura θ, sarà $ma^{t+\theta}$ la sua velocità per la temperatura $t+\theta$. Sia k l'assoluta velocità di raffreddamento del recipiente supposto alla temperatura θ, cioè quella che si avrebbe se il calorico invece di uscire da un punto della parete per andare a cadere in un altro, fosse distrutto o assorbito nel momento della sua uscita; tutto colesto calorico partito da tutti i punti del recinto non giunge al corpo; in realtà, esso non riceve e non assorbe se non una parte capace di dargli una velocità di riscaldamento eguale ad m. Alla temperatura θ il recipiente avrebbe una velocità di raffreddamento ka^{θ}; e la velocità di riscaldamento che il corpo riceve sarebbe allora ma^{θ}. Onde finalmente quando il recipiente trovasi alla temperatura θ ed il corpo alla temperatura $t+\theta$, la sua reale velocità di raffreddamento v è uguale ad $ma^{t+\theta}-ma^{\theta}$, d'onde:

$$v=ma^{\theta}(a^{\theta}-1)\,.$$

che è la vera espressione della legge di raffreddamento

Volendola verificare per esperienza, basterà prendere le serie che abbiam riferite o altre simili, determinare da prima a ed m, ed indi sostituendo in vece di t i vari eccessi osservati, ricavarne i corrispondenti valori di v, per paragonare coteste *velocità calcolate* con quelle che risultano dalla formola $v=t(m+2nz)\log b$, e dalle frazioni delle serie, e alle quali abbiam dato il nome di *velocità osservate*.

Prima di tutto a si ricava facilmente, perchè abbiam veduto che facendo aumentare a 20° la temperatura θ del recipiente la ragione r delle velocità era 1,165, quindi ne

segue $a^{\theta}=1,165$; ed $a=1,0077$; inoltre paragonando altre serie ottenute con altri corpi in raffreddamento, si ricade sempre sullo stesso valore numerico di a: il che ci permette di conchiudere che nella legge del raffreddamento il valore di a non dipende punto dalla natura dei corpi.

Per avere poi m si sostituisce invece di v, a, θ e t qualcheduno de' valori presi nella serie: si prende il medio de' risultamenti ai quali essi conducono per m, che sola resta allora incognita. Le serie da noi riferite danno in tal modo $m=2,037$, e tutte le serie che si potranno fare con lo stesso strumento condurranno al medesimo valore, ma questo valore cambia passando da un corpo ad un altro.

Nella legge di raffreddamento dunque a è una costante assoluta, ed m la costante che distingue il corpo sottoposto all' esperienza. Ma per uno stesso corpo cui si muti solo la superficie, le velocità essendo evidentemente proporzionali alle quantità di calorico perduto, e perciò a' poteri emissivi, ne segue che il valore di m debba essere proporzionale al potere emissivo del corpo che si raffredda. E questo appunto è stato verificato da Dulong e Petit sopra un medesimo termometro, i cui raffreddamenti sono stati osservati in due stati diversi: con la superficie vitrea naturale e con la medesima rivestita di foglia di argento. Nel primo caso m si è trovata eguale a 2,037 e nel secondo a 0,357: il che dà 5,17 per la ragione tra il potere emissivo del vetro e dell' argento. Cotesta esperienza è importante perocchè da essa si fa aperto che la legge del raffreddamento si applica con la stessa precisione a'corpi, anche quando abbiano poteri emissivi molto diversi; il che basta per fermare il principio, che le ragioni de' poteri emissivi di corpi diversi non variano con la temperatura, almeno entro' que' limiti in cui la legge del raffreddamento è vera.

Quando l' eccesso t non è molto grande, si può nello sviluppo di a^t trascurare il termine $\frac{1}{2}(t\,log'a)^2$ ed i seguenti, ed allora:

$$v=ma^{\theta}t\,log'a,$$

cioè in questo caso la velocità di raffreddamento è proporzionale all' eccesso di temperatura conforme alla legge di Newton. Ma è agevole il persuadersi che la legge non può essere giusta se non per eccessi di temperatura che non oltrepassano 20 o 30°; imperciocchè il logaritmo decimale di a essendo 0,0033313, ed il suo logaritmo neperiano 0,0076676, per $t=30$, $\frac{1}{2}(t\log'a)^2$ è quasi eguale ad $\frac{1}{40}$; d'onde segue che secondo la legge di Newton si commetterebbe sulla velocità un errore di oltre $\frac{1}{10}$ del suo valore; per un eccesso di 50° l'errore sarebbe più di $\frac{1}{10}$.

L'espressione generale della velocità di raffreddamento essendo nota, e questa non essendo altro fuorchè il coefficiente differenziale della variazione di temperatura per rispetto al tempo, egli è agevole mercè una semplicissima integrazione passare *dalla legge della velocità a quella del tempo*. Ma noi ci dobbiamo qui restringere a dare questa legge del tempo come un risultamento del calcolo: essa viene espressa dalla seguente formola:

$$z=\frac{1}{ma^{\theta}\,\log a}\,\log.\frac{a^{t}\,(a^{s}-1)}{a^{s}\,(a^{t}-1)}:$$

m, a, θ e t dinotano quello stesso che dinotavano nella legge della velocità; s rappresenta l'eccesso iniziale, cioè l'eccesso di temperatura per lo quale il tempo è zero, a partire dal quale per conseguenza deve essere computato il tempo z.

Questa formola essendo una necessaria conseguenza di quella della velocità, trovasi verificata col verificare la prima; se intanto si volesse direttamente verificarla, basterebbe determinare le costanti m ed a, sostituirvi gli eccessi t, e ricavarne i valori de' tempi z per paragonarli a quelli dell' osservazione.

490. *Legge del raffreddamento ne' gas.*— Quando un corpo si pone a raffreddare in un recipiente pieno di gas, perde calorico per due ragioni, per irraggiamento cioè, e per lo contatto del gas medesimo le cui correnti si rinnovano con maggiore o minore attività. Per discernere gli effetti di queste due cagioni, Dulong e Petit han fatto da prima molte serie d' esperienze con lo stesso termometro, ma col dare diversissimi poteri emissivi alla superficie del medesimo, lasciandola per esempio scoperta e coprendola di foglia di argento. Or se dalle velocità osservate nel gas si sottraggono quelle osservate nel vuoto, si trovano perfettamente gli stessi risultamenti, sia qualunque lo stato della superficie; ci è dunque permesso di concludere che cotesti risultamenti identici esprimono veramente la velocità spettante al contatto del gas, e che però siffatte velocità non dipendono in verun modo dallo stato della superficie de' corpi.

Fermato una volta questo fondamentale

principio, è facile il determinare le velocità di raffreddamento in tutti i gas a pressioni e temperature diverse, imperciocchè basta avere la costante m del termometro, calcolare le sue velocità di raffreddamento nel vuoto e sottrarle dalle velocità osservate nel gas. Con questo metodo Dulong e Petit han trovato per l'espressione v' della velocità del raffreddamento derivato dal solo contatto di un fluido elastico che non abbia altro moto fuori di quello generato dalle correnti per la diversità di temperatura,

$$v'=gh^c\, t^b .$$

b, è lo stesso per tutt'i termometri e per tutti i gas, ed è uguale ad 1,233; c è anche lo stesso per tutti i termometri, ma varia da un gas all'altro: esso è uguale a 0,45 per l'aria, 0,38 per l'idrogeno, a 0,517 per l'acido carbonico, e a 0,501 per lo gas olefaciente; h è l'elasticità del gas; t è l'eccesso di temperatura; g è un coefficiente che varia con la natura de' gas e de' corpi che si raffreddano nei medesimi. Per lo termometro con cui facevansi le sperienze si avevano per g i valori che seguono: 0,0092 nell'aria; 0,0318 nell'idrogeno; 0,0089 nell'acido carbonico; e 0,0123 nel gas olefaciente. Cotesti valori suppongono che le temperature t siano espresse in gradi centigradi, e l'elasticità h in colonne di mercurio la cui unità sia il metro. Mercè questi dati si potrebbero paragonare i poteri di raffreddamento de' varî gas per ciascuna pressione. L'idrogeno paragonato all'aria darebbe per esempio

$$\frac{318}{92}\, h^{0,38-0,45},$$

alla pressione ordinaria $h=0,76$; d'onde segue che il potere di raffreddamento dell'idrogeno è quasi tre volte e mezzo più grande di quello dell'aria. D'onde ripeter si deve una differenza sì grande? Tutto par che c'induca a farla dipendere dalla maggiore mobilità delle molecole dell'idrogeno; perocchè se gli elementi chimici vi prendessero parte, noi dovremmo avvertire un'adesione o un contatto più o meno intimo delle mole ole del gas con la superficie de' corpi che si raffreddano; ed allora i termometri a superficie vitrea o inargentata non avrebbero dato gli stessi risultamenti.

La legge del raffreddamento di cui abbiamo dato l'espressione generale è molto intrigata: è per altro probabile ch'essa non si verifichi nell'aria libera, perocchè in essa le correnti procedono in modo diverso da quello che interviene in un recipiente sferico e stretto. Per la qual cosa allorchè nelle sperienze consuete si deve far ricorso a formole di raffreddamento nell'aria, sia per fare delle correzioni, sia per qual siasi altro obbietto; è quasi necessità il ricorrere alla legge del Newton, determinando le costanti nel modo da noi indicato.

In un eccellente lavoro intorno a questo argomento, i signori de la Provostaye e Desains han fatto vedere che le leggi precedenti debbono essere modificate, anche in un recinto vuoto; quando i poteri riflettenti de' termometri divengon considerevoli, e soprattutto in un recinto pieno di gas, quando questo recinto cambia di forma, o quando prende delle dimensioni più piccole (*Ann. de Phys. et de Chim.*, 3 serie, t. XVI).

491. *Equilibrio di un termometro in uno spazio le cui parti non siano tutte alla stessa temperatura.* — Sia 1 la superficie totale del recipiente sferico, k la porzione di questo che trovasi alla temperatura s, e di $1-k$ la porzione che trovasi alla temperatura θ; supponghiamo per maggiore semplicità che il loro potere riflettente sia nullo: nel centro di questo spazio il termometro dovrà, per l'equilibrio, prendere al di sopra di θ una temperatura incognita t che dobbiamo determinare.

La sua temperatura essendo $t+\theta$, la sua velocità assoluta di raffreddamento sarà $ma^{t+\theta}$; ma dalla porzione $1-k$ del recipiente esso riceve una velocità di riscaldamento $m(1-k)a^{\theta}$, e dalla porzione k una velocità di riscaldamento mka^{s}; la sua definitiva velocità di riscaldamento sarà dunque

$$ma^{t+\theta}-m(1-k)a^{\theta}-mka^{s}.$$

Per l'equilibrio conviene che questa velocità sia nulla; e però si ha la seguente equazione per determinare t:

$$a^{t}=1-k+ka^{s-\theta}.$$

Il recipiente invece di essere sferico potrebbe essere cilindrico; allora è mestieri che k sia convenientemente valutata.

Partendo da questo principio io determinai nel 1824 la temperatura dei corpi per irraggiamento e la temperatura del globo solare: i recipienti eran chiusi con vetro; chiusi con salgemma sarebbe inutile il fare le correzioni.

492. *Espressione della quantità totale di calorico emesso da' corpi* (*Estr. dalla mia Mem.*, *Rendiconti dell' Accademia* 1838). — Un corpo il cui potere emissivo è f e la cui temperatura è $t+\theta$, emette nell'unità di tempo per l'unità di superficie una quantità totale di calorico e espressa dalla formola:

$$e=gfa^{t+\theta};$$

g essendo una costante comune a tutt' i corpi

senza distinzione ; il cui valore è 1,146 , quando si prende il centimetro quadrato per unità di superficie ed il minuto per unità di tempo; a è sempre uguale ad 1,0077.

Supponghiamo infatti questo corpo sferico di superficie s posto nel centro di un recipiente anche sferico di superficie s', avente una temperatura θ ed emettente dall' unità di superficie nell' unità di tempo una quantità di calorico e', il suo potere emissivo essendo totale ed eguale ad 1. La quantità di calorico emesso dal corpo sarà es, e quello emesso dal recipiente sarà $e's'$, di cui il corpo ne riceve $c's'\text{sen}^2\,\omega$ e ne assorbe $e'fs'\text{sen}^2\,\omega$.

La perdita reale del corpo in quantità di calorico sarà dunque $es-e'fs'\text{sen}^2\,\omega$; ovvero $es-e'sf=s(e-e'f)$; o finalmente, ponendo in luogo di e il suo valore antecedente, ed in luogo di e' il suo valore ga^θ, perocchè per lo recipiente $f=1$,

$$sgf(a^{t+\theta}-a^\theta).$$

Sia ora p il peso del corpo, e c la sua capacità pel calorico; per ogni unità di calorico che perde, la sua temperatura si abbassa di $\frac{1}{cp}$; per conseguenza attesa l'antecedente perdita di calore, il suo abbassamento di temperatura nell' unità di tempo ovvero la sua velocità di raffreddamento sarà

$$\frac{sgf}{c}(a^{\theta+t}-a^\theta).$$

Affinchè questa formola coincida con quella di Dulong e Petit, basterà fare:

$$m=\frac{sgf}{cp}.$$

Ora il valore di m essendo veramente in ragion diretta della superficie del corpo e del suo potere emissivo, ed in ragion inversa del suo peso e della sua capacità; così conviene che l' espressione di a sia giusta.

Dai valori di m, f, c, p, ricavati dalle sperienze di Dulong e Petit se ne conclude $g=1,146$.

Egli è agevole anche il vedere che un corpo il quale perdesse il suo calorico senza riceverne, impiegherebbe per passare dalla temperatura s alla temperatura t un numero z di minuti espressi dalla formola:

$$z=\frac{cp}{sgf\log a}\left(\frac{a^{s-t}-1}{a^s}\right)$$

493. ***Equilibrio di temperatura dei corpi circondati da un invoglio diatermano*** (Estr. dalla mia Mem. ne' Rendiconti dell' Accademia, 1838).—Siano s, s'', s', le superficie di un corpo, di un invoglio diatermano, e di un recipiente sferico concentrico: l' invoglio sia tra il corpo e la superficie del recipiente; siano e, e'', e' le quantità di calorico emesse nell' unità di tempo dall' unità di ciascuna delle tre superficie; sia b il potere assorbente dell' invoglio diatermano per rispetto al calorico emesso dal globo, e b' il potere assorbente per rispetto al calorico emesso dal recipiente. Nell'unità di tempo il globo emette una quantità di calorico es; una porzione bes sarà assorbita dall' invoglio, ed un' altra $(1-b)es$ attraversa l' invoglio per giungere al recipiente.

Il recipiente emetterà una quantità di calorico $e's'$; una porzione $e's'\text{sen}^2\,\omega$ cadrà sull'invoglio diatermano (ω è la metà dell' angolo sotto il quale dalla parte del recipiente si vedrebbe l' invoglio); questo ne assorbirà una porzione $e's'b'\text{sen}^2\,\omega$, e ne lascerà passare una porzione $e's'(1-b'\text{sen}^2\,\omega)$.

L'invoglio emetterà una quantità di calorico $e''s''$ verso il globo ed altrettanto verso il recipiente.

La somma delle quantità di calorico che perde l' invoglio è eguale a quella delle quantità che riceve, donde si ha una prima equazione

$$2e''s''=bes+b'e's'\text{sen}^2\,\omega.$$

Per lo globo e per lo recipiente si hanno anche due altre equazioni le quali riproducono la prima:

$$es=e''s''+(1-b')e's'\text{sen}^2\,\omega,$$
$$e's'\text{sen}^2\,\omega=e''s''+(1-b)es.$$

E supponendo che l' invoglio diatermano abbia poca grossezza, e che il suo raggio superi di poco quello del globo, siccome accade all' atmosfera intorno alla terra, si avrà $s=s''=s'\text{sen}^2\,\omega$, e le due antecedenti equazioni diventeranno

$$e=e''+(1-b')e',$$
$$e'=e''+(1-b)e.$$

Se se ne ricavino i valori di $\frac{e}{e'}$, $\frac{e}{e''}$, $\frac{e'}{e''}$; e si eguaglino a' valori di $\frac{e}{e'}$, $\frac{e}{e''}$, $\frac{e'}{e''}$ ricavati dalle equazioni $e=ga^t$, $e'=ga^{t'}$, $e''=gf''a^{t''}$, che si hanno per lo antecedente teorema quando si esprimono con t, t'', t' le temperature del globo, dell'invoglio e del recipiente, e si supponga il potere emissivo dell' invoglio eguale ad f'' ed i due altri eguali all' unità, si giungerà finalmente alle espressioni che seguono:

$$a'-t'=\frac{2-b'}{2-b},$$

$$a'-t''=f''\frac{2-b'}{b+b'-bb'},$$

$$a''-t''=f''\frac{2-b'}{b+b'-bb'},$$

le quali danno per tutti i casi possibili le differenze di temperature necessarie per le condizioni di equilibrio tra il globo ed il recipiente, il globo e l'invoglio, il recipiente e l'invoglio. Si vede che queste differenze dipendono essenzialmente da' rispettivi valori di b e di b', cioè dai rispettivi valori de' poteri assorbenti dell' invoglio dintermano relativamente al calorico del globo e del recipiente.

Questo teorema generale, che potrebbe anche estendersi a molti invogli, rende compiute le condizioni di equilibrio che si hanno mercè l' irraggiamento.

§. IV. *Conducibilità de' corpi per lo calorico.*

494. La *conducibilità* è la proprietà che hanno i corpi di assorbire il calorico o diffonderlo nella loro massa. Questa si distingue in *conducibilità esterna* o *penetrabilità* ed in *conducibilità propria* o *permeabilità*. Per la sua *penetrabilità* un corpo fa passare il calorico dalla superficie propria a quella di un altro corpo contiguo, o al contrario: per la sua permeabilità lascia passare il calorico da un punto ad un altro della sua massa. Si sa per esempio che una verga di ferro essendo tuffata con uno de' suoi estremi in un bagno di piombo liquefatto, il calorico a poco a poco si propaga sulla lunghezza della stessa e giunge finalmente a farsi sentire ad una gran distanza. Or la quantità di calorico che entra per una data superficie dalla parte immersa deriva dalla penetrabilità, e quella che passa da una sezione all' altra deriva dalla penetrabilità e dalla permeabilità, imperciocchè essa deriva dalle perdite che soffre all'esterno dalla superficie libera, e dalla facilità colla quale il calorico si propaga da una molecola del ferro all' altra che segue.

495. *Conducibilità de' solidi.* — Quando si voglia solamente rendersi certo della disuguale conducibilità de' diversi corpi, puossi adoperare lo strumento d'Inghenouz (*fig.* 351). Questo strumento è composto da una piccola cassa a di rame, sopra un lato della quale van fermati perpendicolarmente de' piccoli cilindri c di materie diverse e dello stesso diametro, ciascuno de' quali è ricoperto di cera. Versando nella stessa acqua bollente o olio caldissimo, il calorico penetrando ne'cilindri andrà liquefacendo la cera che copre: in alcuni la cera si fonderà fino ad una gran distanza dalla cassa, e son questi i migliori conduttori; in altri si liquefarà appena per poche linee, e questi sono i cattivi conduttori.

Ma quando vogliansi estimare le ragioni numeriche delle conducibilità de' vari corpi, è mestieri attenersi ad altre considerazioni e ad altre esperienze. Da prima dimostrasi col calcolo (V. i *Trattati di Fourier e di Poisson*) che se una verga cilindrica o prismatica, la quale abbia una sezione a, un perimetro c, una conducibilità esterna h, ed una conducibilità interna k, si trovi tuffata con uno dei suoi estremi in una sorgente di temperatura costante, e che abbia il tempo di ridursi in equilibrio, essendo l' aria esterna mantenuta ad una temperatura costante più bassa di quella della sorgente, vi sarà allora tra l'eccesso della temperatura z di una di queste sezioni e la distanza d di questa dalla sorgente, una particolar relazione espressa dall'equazione

$$z=mr^{-d}+nr^{d},$$

m ed n son due costanti; il valore di r è dato da $r=e^{b}$; e è la base de' logaritmi neperiani; e $b^{2}=\frac{ch}{ak}$.

Attesa la forma di questa equazione, mercè di semplici sostituzioni è facile il dimostrare, che se nella verga si considerino diverse sezioni, le cui distanze dalla sorgente espresse da d_1, d_2, d_3 ..... crescano in progressione aritmetica la cui ragione sia i, i corrispondenti eccessi di temperatura z_1, z_2, z_3 ...godranno di questa proprietà: che se si faccia la somma di due qualunque degli ordini dispari consecutivi e si divida per quella dell'ordine pari che li tramezza, si avrà sempre lo stesso quoziente; che sarebbe lo stesso di due ordini pari divisi pel dispari intermedio; cioè che si ha sempre:

$$\frac{z_1+z_3}{z_2}=\frac{z_2+z_4}{z_3}=\frac{z_3+z_5}{z_4}=\text{ec.},$$

ed il valore di questo quoziente è $r^{-i}+r^{i}$ ovvero $e^{-bi}+e^{bi}$.

Cotesta proprietà è stata infatti verificata dal Despretz sopra alcuni metalli buoni conduttori come il rame ed il ferro; costui operava nel seguente modo: la verga metallica di 12 millimetri di lato era disposta orizzontalmente (*fig.* 352); di decimetro in decime-

tro v' eran de' buchi pieni di mercurio, i quali aveano 5 millimetri di diametro e 15 di profondità; l' estremo della verga era riscaldata alla fiamma d' una particolar lucerna; due o tre ore eran necessarie perchè l' equilibrio si componesse, i termometri eran sei, ed ecco quali furono pel rame i risultamenti dell' esperienza:

Distanze dei termometri	Eccessi di temperature	Quozienti di due eccessi per un eccesso interm.	Quozienti di due eccessi consecutivi
100mm	66° 4	.	1,4
200	46 3	2,14	1,4
300	32 6	2,15	1,4
400	24 5	2,11	1,4
500	18 6	2,17	1,4
600	16 2	.	1,4

il che conferma sufficientemente la proprietà della quale di sopra è detto: ma pe' corpi meno buoni conduttori, siccome lo zinco, lo stagno ed il piombo, cotesta proprietà non rimane così bene rifermata: per lo marmo l' errore è tale che l' uno de' quozienti è triplo dell' altro, e pei corpi men buoni conduttori del marmo, quali sono la porcellana e l' argilla cotta, l' errore è anche più grande.

I corpi pei quali il *quoziente della somma de' due eccessi per l' eccesso intermedio è costante*, sono i soli di cui possa esser determinata la conducibilità per esperienze di questo genere, e vi si perviene nel modo seguente: scelgonsi delle verghe della stessa dimensione, si spalmano di vernice affinchè le perdite per lo irraggiamento e per lo contatto dell' aria sian le stesse, e si ordinano, come si è detto, i termometri di osservazione. In tal congiuntura a, c, h ed i sono le stesse. Sia $2q$ il quoziente per uno di questi corpi il quale abbia una conducibilità k; e $2q'$ per un altro il quale abbia la conducibilità k'; per la prima e per la seconda si avrà:

$$e^{-bi}+e^{bi}=2q;\ e^{-b'i}+e^{b'i}=2q'.$$

Da cui facilmente ricavasi:

$$e^{bi}=q+\sqrt{q^2-1};\ e^{b'i}=q'+\sqrt{q'^2-1};$$

e però:

$$b^2i^2=[\log(q+\sqrt{q^2-1})]^2;$$

$$b'^2i^2=[\log(q'+\sqrt{q'^2-1})]^2$$

donde
$$\frac{k}{k'}=\left[\frac{\log(q'+\sqrt{q'^2-1})}{\log(q+\sqrt{q^2-1})}\right]^2.$$

Si dimostra parimenti col calcolo, che quando la verga ha molta larghezza, la ragione tra l' eccesso di temperatura z di una sezione e la distanza d di questa riducesi a

$$z=sr^{-d},$$

la costante r^d o e^{bd} del altro termine, dovendo essere nulla, perocchè altrimenti questo termine avrebbe un valore infinito per d infinito, il che non può essere: l' eccesso di temperatura per questa sezione posta ad una distanza infinita dalla sorgente dovendo essere al contrario eguale a zero; in questo caso s è l' eccesso di temperatura della sorgente su quella dell' ambiente, perocchè $d=0$ dà $z=s$.

Da tutto ciò segue che, *le distanze dalla sorgente crescendo in progressione aritmetica, i corrispondenti eccessi cresceranno in progressione geometrica*. E per fermo, coteste distanze essendo $d_1, d_2, d_3 \ldots$ con $d_2-d_1=i$, $d_3-d_2=i$, ec. ed i corrispondenti eccessi essendo z_1, z_2, z_3, ec. si avrà evidentemente;

$$\frac{z_1}{z_2}=\frac{z_2}{z_3}=\frac{z_3}{z_4}=r^i=e^{bi}.$$

E questo appunto vien rifermato dalle sperienze di Despretz. Cotesta eguaglianza di quozienti degli eccessi consecutivi porta seco quella della somma di due eccessi divisi per l'intermedio, imperciocchè l' eguaglianza antecedente dà, come è chiaro:

$$\frac{z_3+z_1}{z_2}=\frac{z_4+z_2}{z_3}=\text{ec.}$$

Se esprimasi con g uno degli anzidetti quozienti, si avrà $e^{bi}=g$. Per un' altra materia delle stesse dimensioni in grossezza e nella quale i termometri fossero nello stesso modo ordinati, si avrebbe $e^{b'i}=g'$. D' onde è agevole il concludere come poco innanzi facemmo:

$$\frac{k}{k'}=\left(\frac{\log g'}{\log g}\right)^2.$$

Si può osservare che per giungere alla ragione delle conducibilità egli è affatto indiffe-

rente di prendere i quozienti degli eccessi consecutivi quando sono eguali, o i quozienti della somma dei due eccessi divisi per l' eccesso intermedio: imperciocchè l' uno di questi quozienti può ricavarsi dall' altro, ed i risultamenti sono gli stessi.

La relazione $z=sr^{-d}$ ovvero se^{-db} conduce a tre conseguenze che dobbiamo parimenti indicare.

Per uno stessa materia, supponendo due verghe quadrate di grossezze diverse l, l', si avrebbe per l' una $b^2=\frac{4h}{lk}$, e per l'altra $b'^2=\frac{4h}{l'k}$, donde $\frac{b'^2}{b^2}=\frac{l}{l'}$; d' altronde chiamiamo z' l' eccesso della seconda diviso per la distanza d', si avrebbe $z'=se^{-b'd'}$, e se si voglia che questi eccessi siano eguali, è agevole di vedere che ne risulta:

$$\frac{l'}{l}=\frac{d'^2}{d^2},$$

cioè che le distanze dalla sorgente per le quali gli eccessi sono eguali, sono tra loro appunto come le radici quadrate delle grossezze. In questo caso si avrebbero dei quozienti costanti, g per la prima, e g' per la seconda, che potrebbero connettersi anche colle grossezze, imperciocchè si avrebbe:

$$e^{bi}=g,\quad e^{b'i}=g'$$

donde

$$\frac{l'}{l}=\left(\frac{\log g}{\log g'}\right)^2;$$

cioè che le radici quadrate delle grossezze sono tra loro in ragione inversa dei logaritmi dei quozienti.

Per due materie diverse, ma che abbiano le stesse dimensioni, avrebbesi $\frac{b^2}{b'^2}=\frac{k'}{k}$, e per due eccessi eguali $\frac{k'}{k}=\frac{d'^2}{d^2}$, cioè che le conducibilità sono tra loro come i quadrati delle distanze dalla sorgente per le quali gli eccessi sono eguali.

Il Despretz, seguendo il metodo da noi indicato, è giunto ai risultamenti che seguono:

Oro	1000
Platino	981
Argento	973
Rame	898
Ferro	374
Zinco	363
Stagno	303
Piombo	180

Si dà ordinariamente 23 per la conducibilità del marmo, ed 11 o 12 per la conducibilità della porcellana e della terra cotta; ma questi numeri sono molto incerti, imperciocchè il metodo non va bene applicato a queste materie.

Del resto noi dobbiamo osservare che la teoria della conducibilità di cui abbiamo riportate le formole, suppone essenzialmente che le perdite di calorico sian proporzionali agli eccessi di temperatura; ma questa legge del Newton, essendo vera solo pei piccoli eccessi, le conseguenze delle formole non son vere se non che nei limiti anzidetti; nell'esperienze dunque è forza di paragonare tra loro le sole sezioni i cui eccessi differiscan di poco, o avvicinando sufficientemente i termometri di osservazione, o dando alle materie sulle quali si esperimenta grossezze molto più considerabili.

Coteste diverse considerazioni nelle esperienze non impediscon punto il paragone delle conducibilità. E per fermo, sian due sostanze per le quali siensi avuti i quozienti g e g' degli eccessi consecutivi: supponendo che g siasi avuta con una grossezza l della verga ed una distanza i tra i termometri, e g' con una grossezza l' ed una distanza i', egli è agevole l'intendere che si avrà:

$$\frac{k}{k'}=\frac{i'^2}{i^2}=\frac{l'}{l}\left(\frac{\log g'}{\log g}\right)^2,$$

con la sola condizione che le conducibilità esterne h ed h' sian le stesse.

496. *Conducibilità de' fluidi.* — La propagazione del calorico nei fluidi si fa generalmente per moltiplici correnti che si generano necessariamente per le varie densità le quali a lor posta derivano dalle varie temperature. Queste correnti rendonsi visibili nell' acqua mercè piccoli galleggianti, come sarebbe la sottilissima segatura di legno; quando per esempio riscaldasi l' acqua lentamente, in una campana rovescia dalla parte del fondo (*fig.* 353), si veggon le correnti ascendenti nascere al centro, le correnti discendenti andar per le pareti. Accade lo stesso ne' gas, siccome rendesi aperto da molte esperienze. Se intanto le masse fluide fosser riscaldate in guisa che l'equilibrio idrostatico non ne potesse esser turbato, è chiaro che il calorico vi si propagherebbe allora di falda in falda come ne' solidi; imperciocchè egli è chiaro che i corpi hanno anche una conducibilità, perchè se non l' avessero non potrebbero nè riscaldarsi nè raffreddarsi nè prendere diverse densità per effetto del calorico. Il Despretz ha procurato non ha guari di rendere aperto per esperienza cotesta con-

ducibilità, prendendo delle colonne d'acqua d'un metro di altezza e riscaldandole dalla parte di sopra con acqua calda continuamente rinnovata. Egli ha operato così sopra due diverse colonne, i diametri delle quali erano di 218mm e 405mm. I termometri di osservazione eran distanti tra loro per 45mm, ci volevan circa 30 ore perchè l'equilibrio fosse composto. I quozienti degli eccessi consecutivi furono costanti, il primo uguale ad 1, 6, ed il secondo ad 1,4; i loro logaritmi sono realmente in ragione inversa delle radici quadrate de' diametri, siccome era da aspettarsi. Introducendo coteste condizioni nella formola precedente affinchè si possa paragonare la conducibilità del rame a quella dell'acqua, si trova che la prima è 95 volte più grande della seconda; onde nella tavola precedente la conducibilità dell'acqua sarebbe espressa da 9 o 10.

L'aria ed i gas son pessimi conduttori, ma le loro conducibilità non potrebbero essere studiata col metodi da noi descritti, imperciocchè i termometri di osservazione rimanendo esposti alle irradiazioni non potrebbero indicare le temperature delle diverse falde. Il solo genere di esperienze che dimostra la poca conducibilità de' gas e particolarmente dell'aria, è la lentezza con cui riscaldansi o raffreddansi i corpi circondati da aria quando la mobilità di questa è impedita da corpi ripieni d'interstizi, come sarebbe la paglia, la lana, la seta, le piume e tutte le materie a filamenti. Per la qual cosa, la poca conducibilità dei nostri abiti, delle pellicce e di tutti i corpi di questa natura deriva da due cagioni: prima perchè tutti i corpi minuti e divisi, finanche le polveri metalliche, sono per se stessi cattivi conduttori; secondo perchè l'aria che riempie gl'interstizj essendo trattenuta da una moltitudine di ostacoli ha anch'essa poca conducibilità pel calorico. Ecco perchè è mestieri di non comprimere o stringere i corpi per escluderne l'aria. La bambagia e le piume premute come un cartone diventerebbero mediocri conduttori, siccome lo sarebbero anche meglio se i loro filamenti non fossero molto avvicinati per impedire i moti dell'aria. È appena necessario aggiungere che cotesti corpi che diconsi *caldi* nol sono per se medesimi; essi impediscon solo il passaggio del calorico, nè sono meno acconci ad impedire la fusione del ghiaccio durante la state ed il raffreddamento dei corpi che circondano durante l'inverno.

CAPO II.

CALORIMETRIA.

§ 1. *Capacità de' corpi pel calorico.*

497. *Delle quantità di calorico e dei mezzi di paragonarle.* — Teniamo come un principio per se stesso evidente, che per produrre uno stesso effetto sia sempre necessaria la stessa quantità di calorico: se per esempio un chilogrammo di ferro trovandosi alla temperatura di 10 gradi passi in un modo qualunque a quella di 11°, noi teniamo per fermo che esso riceva sempre la stessa quantità di calorico, tanto se l'abbia dal sole o dal fuoco, quanto se gli pervenga dal contatto o dall'irraggiamento di un corpo quale che siasi. In simile guisa, un chilogrammo di ghiaccio a 0° ha bisogno sempre della stessa quantità di calorico per fondersi, ed un chilogrammo d'acqua a 100° gradi ha bisogno eziandio sempre della stessa quantità di calorico per ridursi in vapore. Le quantità di calorico d'altronde sono proporzionali ai pesi dei corpi sopra i quali generano il medesimo effetto, vale a dire che per far passare 100 chilogrammi di ferro da 10° ad 11°, o per fondere 100 chilogrammi di ghiaccio, o per convertire in vapore 100 chilogrammi di acqua, ci vorrà sempre una quantità di calorico 100 volte maggiore. Laonde per paragonare tra loro delle date quantità di calorico basterà applicarle successivamente a riscaldare un corpo sino allo stesso punto, o a fondere del ghiaccio, a ridurre dell'acqua in vapore, ed indi paragonare i pesi di questi corpi sopra i quali gli stessi effetti sonosi operati.

Un corpo ha maggiore o minore *capacità per lo calorico*, secondo che sia necessaria una maggiore o minore quantità di calorico perchè soffra un dato cambiamento di temperatura, come di 1° per esempio; e questa quantità è quella che dicesi *calorico specifico* del corpo. Due corpi dunque avranno eguali capacità se a pesi eguali avranno bisogno di eguali quantità di calorico per riscaldarsi di un 1°; e per contro l'uno avrà una capacità doppia o tripla dell'altro se avrà bisogno di doppia o tripla quantità di calorico. La ragione del calorico specifico è chiaro essere la stessa che quella delle capacità.

Uno stesso corpo può avere una *capacità variabile*, siccome accade al platino, il quale assorbe diverse quantità di calorico per passare da 0 ad 1, e per passare da 100 a 101 o da 1000 a 1001; la sua capacità è *crescente*, perciocchè essa aumenta con la tem-

peratura: l' acqua per l' opposto ha una capacità quasi *costante*, la quale perciò suolsi scegliere per unità.

Dalle esposte definizioni chiaramente segue, che se un corpo il quale abbia un peso m ed una capacita c si riscaldi o si raffreddi di t°, esso acquisterà o perderà una quantità di calorico espressa da mct; se ne inferisce di più, che se un sistema di corpi le cui masse siano m_1, m_2, ec.; e le capacità c_1, c_2, ec. soffra in tutte le parti una variazione di temperatura t, la risultante delle quantità di calorico perduto o guadagnato sarà $m_1 c_1 t + m_2 c_2 t + m_3 c_3 t +$ ec.; e se poi si consideri un corpo il cui peso sia $m = m_1 + m_2 +$ ec. e la cui capacità sia $c = \frac{m_1 c_1 + m_2 c_2 + \text{ec}}{m}$ questa capacità c è chiamata *capacità media* del sistema per rispetto al calorico.

Il calorico specifico si determina generalmente con tre metodi de' quali ci faremo a dire poche cose, e sono: il metodo del calorimetro, il metodo de' mescugli, ed il metodo del raffreddamento.

498. *Calorimetro di Lavoisier e di Laplace.*—La figura 300 dinota un taglio di questo strumento; esso è composto di tre vasi di latta e, d ed e, de' quali il più grande e circonda il medio d; e questo a sua posta il più piccolo. L' intervallo che separa il primo dal secondo si empie di ghiaccio la cui acqua di fusione scorre per la chiavetta r; e lo spazio che intorno intorno separa il secondo dal terzo è parimente pieno di ghiaccio pesto la cui acqua di fusione scorre per la chiavetta s. Così il calorico esterno è trattenuto ed assorbito dalla prima falda di ghiaccio, e non può mai penetrare fino alla seconda per generarvi fusione; in simil guisa il calorico interno, quello che esce dal corpo chiuso nel piccolo vase, è interamente assorbito dalla seconda falda di ghiaccio ed adoperato a fonderla, senza poter penetrare nella prima e molto meno andar perduto al di fuori. Dopo ciò facilissima cosa egli è l' intendere l' uso di questo strumento per risolvere le quistioni relative alla capacità.

Siano m, m' i pesi di due corpi, c, c' le loro capacità pel calorico, t, t' le loro temperature nel momento in cui son messi nel calorimetro, g, g' le quantità di ghiaccio che fondono, ovvero le quantità di acqua raccolte nel tempo delle esperienze fino a che i corpi siano arrivati alla temperatura 0. Le quantità di calorico perdute sono evidentemente proporzionali alle quantità di ghiaccio g e g' che han fuso: ma il primo perde mct, ed il secondo $m'c't'$: si avrà dunque:

$$\frac{mct}{m'c't'} = \frac{g}{g'}\text{; donde } \frac{c}{c'} = \frac{g}{g'} \cdot \frac{m't'}{mt}.$$

Operando sullo stesso corpo a temperature diverse si vede se la capacità sia costante o variabile.

Per fare coteste sperienze sopra i liquidi, è mestieri chiuderli in un fiasco, e sperimentare due volte prima col fiasco vuoto e dopo col liquido. Nella prima sperienza la quantità di calorico perduto sarà mct, ed $mct' + m'c't'$ nella seconda. Supponendo che si parta da un' altra temperatura t', e che m', c' dinotino la massa e la capacità del liquido, esprimendo sempre con g e g' le quantità di ghiaccio fuso nella prima e nella seconda esperienza, si avrà;

$$\frac{mct}{mct' + m'c't'} = \frac{g}{g'};$$

d' onde è facile ricavare $\frac{c}{c'}$, ossia la ragione delle capacità del fiasco e del liquido.

Ecco come con questo metodo tutte le capacità possono essere riferite all' acqua; imperciocchè avuta una volta la capacità d'un fiasco riferita all' acqua si paragonano le capacità delle altre sostanze a quelle del vetro; di vetro per esempio, e per paragonarle all' acqua basta moltiplicarle per la capacità del vetro per rispetto all' acqua.

Queste sperienze, che paiono così semplici, non sono poi senza difficoltà: se si adopera la neve o il ghiaccio pesto troppo fino, questo s' inzuppa dell' acqua di fusione; e se si bagna prima con l' acqua fino a saturarnelo, allora non si raccoglie solo l'acqua di fusione, ma anche quella di saturazione, della quale non si può tenere un conto preciso. Si hanno risultamenti più giusti scegliendo frammenti di ghiaccio di moderata grandezza.

Si può in certi casi sostituire al calorimetro un buco scavato nel ghiaccio molto compatto (*fig.* 354).

La temperatura poi dei corpi nel momento in cui s' introducono nel calorimetro, si determina tuffandoli in un bagno di conosciuta temperatura e tirandoli fuori quando vi si sono equilibrati per portarli tosto nel calorimetro. Se la falda liquida che il corpo porta con se abbia un peso considerabile, se ne terrà conto aggiungendo alla quantità di calorico perduto dal corpo quella che perde il liquido stesso, che anche è uguale al suo peso molti-

plicato per la sua temperatura e capacità che dovrebbero esser conosciuti.

498 *bis*. *Metodo dei mescugli*. — Con questo metodo il calorico perduto da un corpo che si raffredda è ricevuto da un secondo corpo che si riscalda, e conoscendosi i pesi di cotesti corpi, basterà osservare le temperature perdute ed acquistate per riferirne la ragione delle capacità. Il corpo che si raffredda sia per esempio un metallo, il quale abbia una capacità c ed una temperatura t prima che si faccia il mescuglio: il corpo che si riscalda sia una massa d'acqua m', la cui temperatura sia t', prima del mescuglio per esempio, e la cui capacità sia presa per unità; il vase che contiene l'acqua abbia un peso a ed una capacità b; il termometro che mostra la temperatura del mescuglio ha anche una porzione c del suo peso che prende parte al riscaldamento; sia d la sua capacità; e sia finalmente θ la temperatura del mescuglio.

Il corpo, passando dalla temperatura t all'altra θ perde un numero di gradi $t-\theta$ ed una quantità di calorico $mc\,(t-\theta)$.

L'acqua elevandosi da t' a θ acquista una temperatura $\theta-t'$ ed una quantità di calorico $m'\,(\theta-t')$. Per la stessa ragione il vase ed il termometro che partecipano al riscaldamento dell'acqua acquistano $ab\,(\theta-t')$ e $cd\,(\theta-t')$. Laonde la quantità di calorico guadagnato sarà

$(m'+ab+cd)\,(\theta-t')$, ovvero $m_1(\theta-t')$ facendo $m_1 = m'+ab+cd$; m_1 sarà allora la *massa d'acqua corretta*.

Eguagliando questa quantità di calorico acquistato a quella di calorico perduto, si ha:

$$mc(t-\theta)=m_1\,(\theta-t');\ \text{ossia}\ c=\frac{m_1(\theta-t')}{m(t-\theta)}.$$

Ecco la disposizione da me scelta per adoperar questo metodo alla determinazione della capacità del platino fino alla temperatura di 1200°:

a (*fig.* 356) è un vase di rame sottile fermato sopra uno zoccolo di legno mercè tre specie di turaccioli di sughero sporgenti; b è un invoglio simile al vase, ordinato ad impedire le correnti d'aria e le accidentali variazioni di temperature; il coverchio c del vase ha un foro assai grande e porta un paniere di fili di rame nel quale va messo il corpo; un *agitatore* d è ordinato a mescolare l'acqua per raffreddare più prestamente il corpo e ridurre la durata dell'esperienza a 30 o 40"; il termometro e va messo di lato; la pala dell'agitatore ha un taglio a mezza luna affinchè non lo tocchi; la variazione del termometro si osserva col catetometro, ed in tal modo si può estimare la cinquantesima parte del grado. È necessario avere più apparecchi di diversa grandezza affinchè l'elevazione di temperatura non oltrepassi mai 4 o 5°.

Ciò posto pongasi nel vase dell'acqua a 5 o 6° al di sotto della temperatura dell'ambiente, e per 8 o 10' se ne osservi il riscaldamento di 2' in 2'; si noti il momento in cui si gitta la sfera di platino o in generale di qualunque corpo; e la legge del riscaldamento darà la temperatura dell'acqua nel momento dell'immersione. Agitando fortemente l'acqua, basteranno 30" perchè il termometro riducasi stazionario, e siccome esso allora trovasi quasi alla temperatura dell'ambiente, non si deve generalmente fare alcuna correzione per le quantità di calorico acquistate o perdute dal vaso dalla parte esterna durante questi 80"; se ne dovesse fare una, converrebbe osservare la legge del riscaldamento o del raffreddamento che succede dopo che il termometro si è ridotto stazionario.

Nelle mie sperienze la sfera di platino del peso di 178 grammi era contenuta in un crogiuolo di platino a pareti molto grosse; la sua temperatura si conosceva per mezzo del pirometro ad aria con cui essa era in contatto nella muffola di ferro: il crogiuolo si apriva sull'orlo del vase delle capacità per gittare nello stesso tempo la sfera nel liquido. Quando la sfera era alla temperatura della fusione dell'oro, il suo raffreddamento non durava più di 35 in 48"; ma in questo caso ci voleva una massa d'acqua molto considerabile.

Un metodo somigliante ha seguito il Regnault nell'importante lavoro da lui fatto sulle capacità dei corpi semplici e composti. Ecco la disposizione del suo apparecchio: il corpo è riscaldato in una stufa tenuta a temperatura quasi costante, indi è menato destramente nel vase destinato per lo mescuglio, e le temperature si osservano col catetometro. La stufa è formata da un vase a triplice rivestimento a,b,c (*fig.* 7, tav 38); tra a e b ci ha dell'aria e della bambagia; tra b e c una corrente di vapore, e nell'interno del cilindro c trovansi i corpi assoggettati all'esperienza. La corrente di vapore è generata da una piccola caldaja x ch'è sempre in ebollizione, essa viene per la canna inclinata y ed esce per l'altra y' per andare al serpentino x. Il corpo sta in un piccolo paniere d di fili metallici nel cui mezzo trovasi un cilindro nel quale va collocato il bulbo del termometro e. Questo termometro si riscalda

lentamente; ma finalmente rimane stazionario, ed allora si può esser sicuro ch'esso indica perfettamente la temperatura del corpo. Il vaso de' mescugli è in f; il suo termometro vedesi in g, come anche il termometro h che indica la temperatura dell' ambiente. Giunto il momento si apre il registro a saracinesca i, si spinge il vaso f sopra una guida di ferro che lo conduce al di sotto del cilindro c, si apre il registro orizzontale k; si lascia scorrere il filo che tiene il paniere e questo viene lentamente a cadere nell' acqua. Allora il vase è ricondotto al punto d' onde era partito; questa operazione dura 30", e durante il breve tempo in cui il vase passa nella stufa riman difeso da diaframmi di acqua che osservansi sulla figura; quando il vaso torna, il mescuglio si fa rapidamente mercè un agitatore, e nello stesso tempo osservasi il massimo di temperatura, e la durata delle sperienze. Sia m il peso corretto dell' acqua, vale a dire il suo peso reale aumentato del peso del vase e della porzione del termometro immersa; essendo entrambi estimati in acqua siccome si è detto; sia m il peso del corpo, e μ il peso del paniere estimato in acqua; t la loro comune temperatura, t' la temperatura dell' acqua prima del mescuglio, e θ la sua massima temperatura dopo il mescuglio. Se non vi fossero correzioni a fare, si avrebbe

$$m_1 (\theta-t')=(mc+\mu)(t-\theta),$$

d'onde sarebbe agevole ricavare il valore di c.

Regnault fa le correzioni nel modo seguente:

Da prima osserva la velocità v del riscaldamento o del raffreddamento del vase; osserva per esempio che durante 1" e per un eccesso di temperatura di 1° si ha $v=a$. Ciò posto sia y l' eccesso della temperatura ambiente sopra quella del vase nel momento dell' esperienza, ed y' l' eccesso della temperatura del vase sopra quella dell' aria nel momento in cui si osserva il massimo; nel primo periodo la cui durata è z, il vase si riscalda, e nel secondo la cui durata è z' si raffredda. Il riscaldamento interviene con l'eccesso y che può esser tenuto come costante; esso è dunque ayz; il raffreddamento accade con eccesso variabile, il quale diventa y' alla fine dell' esperienza, ma è più semplice il prenderlo come costante, salvo ad applicargli una frazione p del tempo z': esso diventa così $apz'y'$. La differenza è $a(pz'y'-zy)$; la quale deve essere aggiunta alla temperatura θ del massimo, ma solo nel termine ch' è relativo al vase, e non a quello che riguarda il corpo. Dinotando con θ' questo valore corretto di θ si ha

$$\theta'=\theta+a(pz'y'-zy),$$

e la formola diventa

$$m_1 (\theta'-t')=(mc+\mu)(t-\theta);$$

d' onde si ricava

$$c=\frac{m_1 (\theta'-t')}{m(t-\theta)}-\frac{\mu}{m}.$$

Ecco le principali condizioni numeriche nelle quali Regnault ha fatto la maggior parte delle sue esperienze.

L' acqua del vase pesa quasi sempre circa 462gr.,5

Il peso del vase di ottone	55gr.,5 o in acqua	5,18
Il mercurio del termometro	7,62	0,25
Il vetro id.	1,27	0,27
		5,70

onde $m_1 = 462,5+5,70$.

Il peso del corpo varia da 100gr. a 500gr. circa.

I varj panieri di ottone estimati in acqua pesano da 0gr.,26 ad 1gr.,26; e dentro questi limiti μ varia da un' esperienza all' altra.

La temperatura t' dell' acqua prima del mescuglio è mantenuta ad 1° o 2° al di sotto della temperatura ambiente, e questo è il valore di y, ed il massimo θ si eleva in generale a 2° o 3° al di sopra, ch' è il valore di y'.

La temperatura t della stufa varia da 98 a 99°:

Il tempo z è di 30"

Il tempo z' non deve oltrepassare 3' o 4' affinchè si possa esser certo della giustezza del risultamento; per ciò che riguarda la frazione p, da saggi opportunamente fatti risulta che la medesima si può porre eguale a 0, 75; il valore di a è di 0,0001386. Dopo tutto questo è agevole intendere che la correzione di θ giunge per lo più a 4 o 5 centesimi di grado; ma pure non deve essere trascurata.

Le tavole VII, VIII e IX messe alla fine di quest' articolo, contengono i risultamenti ai quali è giunto il Regnault.

498 *ter*. *Metodo di raffreddamento*. — Dulong e Petit han dato a questo metodo una giustezza che prima non aveva. Il loro strumento (*fig.* 357) è composto di un recipiente a in cui si fa il vuoto; il suo coverchio b ha un tubo ordinato a ricevere un turacciolo metallico c; in questo è fermato a mastice il termometro d' osservazione d, la cui asta colla scala sono sporgenti, ed il riserbatoio cilindrico è immerso nel piccol vaso d' argento e, il quale è sospeso al turacciolo per mezzo di

fili e contiene il corpo assoggettato all' esperienza. Se questo corpo è solido si riduce in polvere, e questa si calca nel vaso d' argento intorno al riserbatoio del termometro: il vase ne deve essere pieno affinchè l' esperienze sieno perfettamente comparabili. Dopo di aver riscaldato il vaso d' argento ed il corpo in esso contenuto fino a 15° o 20° al di sopra della temperatura dell' ambiente, si portano nel recipiente di piombo e questo si tuffa in un bagno a temperatura costante, si fa il vuoto e si osserva la velocità di raffreddamento, o piuttosto il tempo che il termometro mette a discendere dall' eccesso di 10° a quello di 5° al di sopra del bagno. Si osserva così nelle stesse congiunture, per tutti i corpi, la durata del raffreddamento da 10° a 5°. Qui i corpi non essendo buoni conduttori, le temperature indicate dal termometro non appartengono a tutta la massa; ma appunto per la quasi egualmente imperfetta conducibilità, si suppone che la distribuzione del calorico sia presso a poco la stessa, ed in conseguenza si tiene come certo che per l'esperienza fatta sopra due corpi diversi, le quantità di calorico perdute per l' abbassamento di 5° abbiano tra loro la stessa ragione che avrebbero se l'abbassamento fosse comune a tutta la massa. Egli è chiaro d' altronde che per eguali eccessi di temperatura, escono dal vaso d' argento eguali quantità di calorico nello stesso tempo. Le quantità di calorico perdute dunque per lo stesso abbassamento di 10 a 5° sono tra loro come le durate z e z' del raffreddamento, ma se m, m', c e c' sono i pesi e le capacità di due corpi, le loro quantità di calorico perdute pei 5° saranno $5mc$, $5m'c'$; adunque finalmente

$$\frac{mc}{m'c'}=\frac{z}{z'}.$$

È mestieri intanto osservare che in questo caso m esprime il peso m_1 del corpo la cui capacità è c_1, più il peso a del vaso d'argento la cui capacità è b, e più anche il peso d della porzione immersa del termometro la cui capacità è e; e è la capacità media di questo sistema; in modo che si ha

$mc=m_1c_1+ab+de$, ed $m=m_1+a+d$.

Si ha eziandio:

$m'c'=m_2c_2+ab+de$, ed $m'=m_2+a+d$;

il che finalmente dà:

$$\frac{m_1c_1+ab+de}{m_2c_2+ab+de}=\frac{z}{z'};$$

d' onde è facile ricavarne la ragione $\frac{c_1}{c_2}$, quando conoscesi m_1, m_2, a, b, d ed e.

Sarebbe mestieri adoperare particolari avvertenze per paragonare con questo metodo un corpo solido ed un altro liquido; imperciocchè in questo secondo caso la temperatura è uniforme, nell' atto che non lo è nel primo; in generale la giustezza dei paragoni si appoggia sulla similitudine della distribuzione del calorico nei corpi sopra i quali fannosi l' esperienze.

Regnault ha tentata questa via per alcuni corpi che poco si prestano al metodo dei mescugli, ma non sempre ha ottenuto risultamenti plausibili. Il calcare variamente i corpi in polvere genera tali differenze che l' argento poco calcato ha mostrato una capacità di 0,085, nell' atto che lo stesso corpo meglio calcato ha dato 0,057. Intanto i liquidi non han presentato sì grandi differenze; dal che segue che usando le debite cautele il metodo dei mescugli può ad essi venire applicato.

499. *Capacità dei gas pel calorico.* — Delaroche e Berard hao fatto sul proposito un bellissimo lavoro che nel 1812 fu coronato dall' Accademia delle Scienze.

Ecco un sunto del metodo adoperato da questi valenti fisici.

Due grandi vasi di Mariotte a e d convenientemente disposti (*fig.* 355), davano uno scolo d' acqua uniforme; dal quale ne era generato un altro d' aria egualmente uniforme: l' aria andava a premere la vescica b piena del gas sul quale facevasi l' esperienza, ed obbligavalo ad uscire con una velocità costante percorrendo la serpentina s circondata d'acqua che faceva da calorimetro; nell' uscire dalla serpentina il gas entrava in una vescica vuota c, d' onde era cacciato dallo scorrer dell'acqua del secondo vaso di Mariotte d, per ritornare nella vescica b dopo di avere attraversato di nuovo la serpentina nelle stesse condizioni di temperatura. Cotesto successivo ritorno si poteva tante volte ripetere per quanto era necessario. Il gas prima di entrare nella serpentina percorreva un tubo introdotto in un altro e che era pieno di vapore di acqua bollente; entrando nella serpentina trovava tosto un termometro f, ed un altro ne era situato all' uscita per indicare le temperature di uscita. Mercè di esperienze preparatorie conoscevasi d' altronde il numero di gradi che il calorimetro potea ricevere per la diretta comunicazione col tubo che recava il gas caldo, e facevasi la correzione che dipendeva da questo eccesso il quale non apparteneva al gas. Il calorimetro finalmente era separato da un compartimento dal resto dell'apparecchio, affinchè nessuna cagione accidentale potesse

operare sul riscaldamento o raffreddamento del medesimo; un sensibilissimo termometro faceva conoscere ad ogni momento la temperatura dell'acqua onde era riempiuto, e quindi quella dell'invoglio, della serpentina e di tutta la massa componente il calorimetro.

Ciò posto l'esperienze erano condotte nel seguente modo: conoscevasi approssimativamente l'eccesso di temperatura che il calorimetro prender doveva su quella dell'ambiente, e si faceva elevare fino a questa temperatura; facevasi indi passare la corrente del gas, e si manteneva per lungo tempo per esser certo di essersi giunto all'equilibrio e di avere la temperatura perfettamente costante. Supponiamo in una prima esperienza r la temperatura dell'ambiente corretta, aumentata cioè dell'elevazione di temperatura che il tubo caldo dà al calorimetro; sia s la temperatura del calorimetro all'equilibrio; t la temperatura del gas entrando nel calorimetro; m' la massa del gas che passa in un minuto, e c la sua capacità per lo calorico. Poichè il gas perde un numero di gradi $t-s$ in 1', esso perde una quantità di calorico $m'c(t-s)$. Sia m la massa corretta del calorimetro, cioè il peso dell'acqua, del rame e del termometro estimato in acqua; la sua capacità per lo calorico essendo presa per unità, ed il suo eccesso di temperatura su quella dell'ambiente essendo $s-r$; la quantità di calorico che perde in 1' sarà $mg(s-r)$, g essendo una costante che può essere agevolmente determinata, osservando la velocità di raffreddamento del calorimetro abbandonato a se stesso. Or la quantità di calorico perduto essendo necessariamente eguale a quella di calorico ricevuto, si avrà $m'c(t-s)=mg(s-r)$, d'onde si può ricavare la capacità c pel gas per rispetto all'acqua.

Ecco i dati dell'esperienza:

Il calorimetro contiene 556gr. d'acqua; il vaso ed il serpentino sono estimati in acqua a 40gr.,8; la correzione del termometro è trascurata: si ha così m=596gr.,8.

La temperatura ambiente è 7°,26, la sua correzione è 2°,19; r=7°,26+2°,19=9°,45.

La temperatura s del serpentino all'equilibrio è 25°,18; $s-r$=15°,73.

Il volume d'aria che passa in 10' è 35lit,99 a 0 sotto 760; m'=4gr.,68; la sua temperatura di entrata t=97°,6; $t-s$=72°,42.

Per trovare la velocità di raffreddamento del serpentino, si è riscaldato con una lampada per lasciarlo raffreddare nelle stesse condizioni dell'esperienza, salvo la circolazione del gas, e sonosi avuti i risultamenti che seguono:

Tempi trascorsi	Eccessi osservati
0'	23,61
5	22,56
10	21,58
15	20,66
20	19,75
25	18,88
30	18,06
35	17,29
40	16,54
45	15,85
50	15,18
55	14,56

mercè le formole

$$t=cb^{-s} \text{ e } v=(M\log b)\,t.$$

Dalla prima e dall'ultima osservazione si ricava $\log b$=0,0038169, e per conseguenza la velocità di raffreddamento per l'eccesso di 1°, ossia $M\log b$=0,0087888; questo appunto è ciocchè noi abbiamo espresso con g. Questa velocità di raffreddamento è molto diversa da quella che erasi posta da Delaroche e Berard, seguendo le stesse osservazioni ma calcolate con un altro metodo; quindi la capacità dell'aria per rispetto all'acqua data dalla nostra formola è solo 0,243; nell'atto che questi fisici trovano 0,281. Sembrami probabile che vi sia una incertezza di circa $\frac{1}{10}$ sulla determinazione di questo elemento tanto importante.

Delaroche e Berard invece di riferire le capacità degli altri gas a quella dell'acqua, sicome sarebbe stato mestieri, sonosi ristretti a determinare tutte le altre capacità per rispetto a quella dell'aria, per cui hanno posto per principio, che portando il calorimetro all'equilibrio con diversi gas, le capacità di questi sieno in ragion degli eccessi di temperatura del calorimetro sull'ambiente, purchè i gas entrino tutti alla stessa temperatura, ed in tempi eguali ne passino volumi eguali sottoposti alla stessa pressione. Questo principio non è perfettamente vero, ed oltre a ciò questa maniera di sperimentare domanda molte correzioni di temperatura, di volume, di elasticità, le quali riescono per lo più incerte, e però ci danno il diritto di tenere i risultamenti come delle approssimazioni, importanti per altro, se abbiasi riguardo al tempo in cui si ebbero.

Coteste capacità relative formano la seconda colonna della tavola V che qui appresso si trova; esse si riferiscono ad eguali volumi di gas diversi; per farne delle capacità per eguali

masse, prendendo quella dell' aria come unità, basterà dividere ciascuna di esse per la corrispondente densità del gas. E per fermo volumi eguali di aria e d' idrogeno corrispondono a pesi disuguali, i quali sono come le densità 1 e d dell' aria e dell'idrogeno; ora il peso 1 di aria avendo una capacità 1 ed il peso d d' idrogeno una capacità c, egli è chiaro che il peso 1 d' idrogeno avrà una capacità $\frac{c}{d}$. In questo modo si è compilata la 3ª colonna della tavola.

Finalmente moltiplicando tutti questi numeri per 0,2669, numero definitivamente adottato da Delaroche e Berard per la capacità dell' aria per rispetto a quella dell' acqua, formasi l' ultima colonna, la quale contiene la densità dei diversi gas relativamente a quella dell' acqua ch' è presa per unità.

499 *bis*. De la Rive e Marcet hanno ripigliato questo problema del calorico specifico dei gas, e ne hanno cercata la soluzione con un metodo che ispirar deve maggior confidenza, in quanto che Dulong lo aveva quasi nello stesso tempo immaginato, ed appunto con questo sono stati calcolati i risultamenti (*Ann. de Phys. et de Chim.*, t. 75, p. 113).

Un vase di rame sottile, di 37mm di altezza sopra 33mm di diametro è munito di un serpentino, e porta nel suo asse un piccolo termometro; quando è vuoto pesa 28gr.,637, e quando è pieno di acqua ne contiene 27gr.,093. Se ne osserva il raffreddamento nel centro di un globo vuoto di 22 centimetri di diametro, a superficie interna annerita e mantenuta ad una temperatura costante. Questa osservazione si fa prima che alcun gas passi nel serpentino e dopo facendovi passare l' aria e gli altri gas di cui vuolsi determinare le capacità relative. Per la qual cosa due cannelli di vetro sono accomodati uno all' entrata e l' altro all'uscita del serpentino, i quali piegansi parallelamente all' asta del termometro per andare ad uscire con essa fuori del globo. Questa disposizione è analoga a quella della figura 357.

Si usa ogni diligenza affinchè il vuoto sia fatto allo stesso grado e si mantenga perfettamente durante la serie delle sperienze comparative, e si pon mente perchè lo scorrer del gas sia perfettamente uniforme dal principio alla fine di ogni esperienza. Sotto queste condizioni, limitandosi ad eccessi di temperatura che non oltrepassano 15°, il raffreddamento si avvera secondo la legge di Newton. Si avrà dunque

$$t = cb^{-z};\quad v = (M \log b)t,$$

e la costante b si determina siccome abbiamo veduto (§ 489) mercè l' equazione (2) (pag. 221).

$$\log b = \frac{\log c - \log t}{z},$$

in cui c è l' eccesso iniziale, ed in cui si pone, per esempio, t per l' eccesso finale, ed il tempo corrispondente z. Si avranno così diversi valori di b che indicheremo con b, b', b'': b quando il raffreddamento avviene pel solo irraggiamento senza circolazione, b' quando l'aria circola nel serpentino; b'' quando vi circola un altro gas come per esempio il gas idrogeno. Indicheremo similmente con v, v', v'' le corrispondenti velocità di raffreddamento. Ciò posto sia u' la velocità di raffreddamento prodotta dal contatto dell' aria solamente, u'' quella prodotta dal contatto del solo idrogeno; si avrà

$$u' = v' - v,\ \text{ed}\ u'' = v'' - v.$$

Perlocchè per gli stessi eccessi di temperatura il calorico sottratto all'apparecchio nella seconda esperienza è composto di quello perduto per irraggiamento e di quello preso dall'aria; la velocità v' è composta dunque delle velocità corrispondenti a queste due perdite; se dunque se ne tolga la prima v, si dovrà avere la seconda u'. Dicasi lo stesso per l'idrogeno. Ora la capacità c'' e c' dell' idrogeno e dell' aria sarebbero evidentemente proporzionali alle velocità di raffreddamento generate da cotesti gas, per un medesimo eccesso di temperatura, se nello stesso tempo ne passa lo stesso volume; ma d' altra parte, le velocità di raffreddamento generate da ciascuno sono proporzionali ai volumi che passano. Quindi le capacità sono in ragion diretta delle velocità di raffreddamento proprio a ciascun gas, ed in ragione inversa dei volumi di questi gas che passano in tempi eguali; esprimendo con λ' e λ'' cotesti volumi per l' aria e per l'idrogeno, si avrà dunque

$$\frac{c''}{c'} = \frac{u''}{u'} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda''}.$$

De la Rive e Marcet han fatto tutte le osservazioni d' una stessa serie, partendo da una stessa temperatura iniziale, e terminando alla stessa temperatura finale. In questo caso siano d, d', d'' le durate della 1ª esperienza che si fa senza circolazione di gas, della 2ª con circolazione di aria, e della 3ª con circolazione d'idrogeno, si avrà

$$\log b = \frac{\log c - \log t}{d};\ \log b' = \frac{\log c - \log t}{d'};$$

$$\log b'' = \frac{\log c - \log t'}{d''};$$

c essendo secondo il solito la temperatura iniziale e t' la temperatura finale. Laonde
$v = (m \log b)\, t$; $v' = (m \log b')\, t$; $v'' = (m \log b'')\, t$
ed

$$\frac{u''}{u'} = \frac{v'' - v}{v' - v} = \frac{\log b'' - \log b}{\log b' - \log b} = \frac{(d - d'')}{(d - d')} \frac{d'}{d''}.$$

D' altra parte a e g essendo i volumi d'aria e d' idrogeno che scorrono per le durate d' e d'' delle rispettive sperienze, il volume d'idrogeno che sarebbe passato durante il tempo d' sarà $\frac{gd'}{d''}$; d' onde risulta

$$\frac{\lambda'}{\lambda''} = \frac{a}{g} \cdot \frac{d''}{d'}.$$

Il che dà finalmente

$$\frac{c''}{c'} = \left(\frac{d - d''}{d - d'}\right) \frac{a}{g}.$$

E però con questo procedimento tutto riducesi ad osservare le durate d, d', d'' di tre esperienze, ed i volumi a e g d' aria e di gas che passano durante le due ultime. Riferiremo qui i particolari di un' esperienza.

Gas olefaciente o idrogeno bicarbonato.

Temperatura ambiente 11°

$c = 25°$
$t' = 19°$
$d = 1240''$.
$d' = 860''$; $a = 13675{,}88$

1ª $d'' = 624$; $g = 11487{,}31$; $\frac{c''}{c'} = 1{,}496$

2ª $d'' = 594$, $g = 11603{,}21$; $\frac{c''}{c'} = 1{,}557$

3ª $d'' = 632$, $g = 11038{,}32$; $\frac{c''}{c'} = 1{,}537$

Media 1,530

Farà certamente maraviglia che un metodo così corretto dia ancora delle differenze di $\frac{1}{30}$, specialmente applicato da osservatori tanto abili. Io son di credere che ciò derivi da disuguaglianze di temperature che si stabiliscono intorno al serpentino e nel piccolo calorimetro; il più piccolo scuotimento, la più piccola vibrazione al di fuori basta certamente a mescolare falde variamente fredde, e a far variare il termometro di parecchi centesimi di grado. La durata dell' esperienza ed i volumi de' gas trovansi in tal modo alterati in una notabile proporzione. Si giugnerebbe sicuramente ad una maggiore precisione, operando sopra masse tre o quattro volte maggiori, e specialmente agitando continuamente il liquido del calorimetro.

De la Rive e Marcet intanto hanno con le loro esperienze rifermato i risultamenti che Dulong avea già ottenuti col metodo che qui appresso additeremo, cioè che i gas semplici hanno la stessa capacità pel calorico, ma non così i gas composti (v. la VI tabella). Dulong avea trovato per l' acido carbonico e per il gas olefaciente, 1,17 ed 153; De la Rive e Marcet trovano 1,22 ed 1,53.

Si potrebbe eziandio avere immediatamente la capacità de' gas per rispetto all' acqua. E per fermo sia p il peso dell' acqua del calorimetro e quello del vase e del termometro ridotti in acqua; poichè nell' unità di tempo, ch' è per esempio il minuto secondo, l' aria gli toglie un numero di gradi u', la sua perdita di calorico sarà pu', la sua capacità essendo 1. Sia π il peso dell' aria che passa in un minuto secondo, essa si riscalda di un numero di gradi t dinotato dall' eccesso di temperatura che corrisponde alla velocità u'; e la sua capacità per rispetto all' acqua a pesi eguali essendo k', esso guadagnerà $k' t\pi$, il che dà

$$k' t\pi = p\, u'.$$

Ma

$$u' = v' - v = mt(\log b' - \log b)$$
$$= mt(\log c - \log t')\left(\frac{d - d'}{dd'}\right);$$

d' altronde essendo p' il peso dell' aria scorsa nel numero d' di secondi che dura l' esperienza, si avrà $\pi = \frac{p'}{d'}$, e per conseguenza

$$k' = \frac{p}{p'} m (\log c - \log t')\left(\frac{d - d'}{d}\right).$$

Avrebbesi similmente per un altro gas la cui capacità per rispetto all' acqua fosse k'',

$$k'' = \frac{p}{p''} m (\log c - \log t')\left(\frac{d - d''}{d}\right),$$

in cui p'' è il peso totale del gas che passa nel tempo d'' dell' esperienza.

Il che dà veramente per le capacità relative ed a pesi eguali del gas e dell' aria.

$$\frac{k''}{k'}=\frac{p'}{p''}\left(\frac{d-d''}{d-d'}\right).$$

De la Rive e Marcet non han dato nel loro lavoro tutti gli elementi di coteste determinazioni.

Ragioni delle capacità de' gas a pressione ed a volume costante.

500. La capacità della quale di sopra è detto, è la capacità *a pressione costante*, perocchè abbiamo supposto che i gas si dilatino liberamente per lo calorico sotto la stessa pressione, assomigliandoli per questo ai corpi solidi e liquidi che abbiamo implicitamente considerato anche dilatarsi o restringersi senza ostacolo, o piuttosto senza cambiamenti nelle loro interne o esterne pressioni molecolari.

Ma è cosa importantissima esaminare anche le capacità *a volume costante*, cioè la quantità di calorico che prendono i corpi cambiando di pressione quando non possono dilatarsi ossia cambiare di volume.

Appartiene a Laplace la prima idea di cercare queste capacità per paragonarle alle prime, e si può vedere nella Meccanica Celeste quanto essa è stata feconda di conseguenze.

Noi ci dobbiamo qui restringere ad indicare come la ragion di queste due capacità si possa per esperienza fermare.

Consideriamo una massa m d' aria alla temperatura t; supponghiamo che le si dia un aumento di temperatura t_1, il quale ingeneri un aumento di volume δ sotto la stessa pressione: essendo c la sua capacità a pressione costante, la quantità di calorico che essa riceve sarà cmt_1. Dopo dilatata comprimiamola di δ per ridurla al suo primiero volume; sia t_2 il nuovo aumento di temperatura che essa riceve per effetto di questa compressione; affinchè ritorni alla sua primitiva temperatura t, dovrà perdere i due eccessi di temperatura t_1+t_2; e se dicasi c' la sua capacità a volume costante, essa dovrà perdere una quantità di calorico $c'm(t_1+t_2)$.

Or supponendo che coteste sperienze sian fatte senza adoperare calorico per cambiare la temperatura del vase che contiene l' aria, egli è chiaro che il calorico perduto deve essere precisamente eguale a quello acquistato cmt_1, il che dà.

$$cmt_1=c'm(t_1+t_2)$$

donde $$\frac{c}{c'}=1+\frac{t_2}{t_1}=k.$$

Laonde la capacità a pressione costante è sempre maggiore della capacità a volume costante, e la loro ragione è eguale all' unità più la ragione degli eccessi di temperatura t_1 e t_2; t_1 è l' eccesso di temperatura che dà un certo aumento δ di volume sotto la stessa pressione; t_2 è l' eccesso di temperatura che risulta da una compressione δ eguale all' aumento di volume dato da t_1 (*Poisson, Ann. de Chim.* t. XXIII, pag. 13).

Prendendo per esempio $t_1=1°$ e per conseguenza δ eguale al coefficiente di dilatazione a (supponendo che si parta dalla temperatura zero), ne seguirà $k-1=t_2$. Laonde per tutt'i gas che avranno nello stesso tempo lo stesso coefficiente di dilatazione e lo stesso valore di k, si potrà dire che per eguali compressioni essi soffrono le stesse elevazioni di temperatura. Cotesto notevole risultamento può essere in due modi interpetrato: se questi gas abbiano capacità eguali, *le quantità assolute di calorico svolto dalle loro compressioni saranno eguali*; se per contro abbiano capacità diverse, le quantità assolute delle quali si parla saranno evidentemente proporzionali alle capacità, perocchè esse generano la stessa elevazione di temperatura di 1°. Dulong considerava la prima interpetrazione come più naturale; ma la seconda non mi sembra meno semplice. Facendosi la compressione tra tutte le molecole ponderabili della massa, non è egli naturalissimo il porre che le quantità di calorico svolto mercè eguali compressioni di eguali volumi di gas siano alle loro capacità proporzionali? Supponiamo pertanto la opinione di Dulong; siccome, per via di esperienze di cui sarà discorso, egli ha dimostrato che il valore di k è lo stesso ed è eguale ad 1,421 per l' aria, l'ossigeno e l'idrogeno, egli ne conchiude che questi gas semplici hanno anche la stessa capacità pel calorico.

D' altra parte i gas composti, come l' acido carbonico, l' ossido di azoto ed il gas idrogeno bicarbonato hanno i valori k_1, k_2, k_3 diversi da quello dell' aria. Dulong ha trovato

$$k_1=1,338;\ k_2=1,343;\ k_3=1,240$$

I coefficienti di dilatazione di questi gas essendo quasi gli stessi di quello dell' aria, ne segue che compressioni sensibilmente eguali generano diverse elevazioni di temperatura, cioè:

$$0°,338;\ 0°,343;\ 0°,240.$$

Rendendo generale la legge di Dulong, col supporre che le assolute quantità di calorico svolte da eguali compressioni siano eziandio eguali, converrà che le disuguali elevazioni

di temperatura siano in ragione inversa delle capacità a volume costante. Perocchè per l'aria e per l'acido carbonico si ha

$$\frac{c}{c'}=k=1,421;\ \frac{c_1}{c'_1}=k_1=1,338,$$

quindi segue in prima

$$\frac{c'_1}{c'}=\frac{k-1}{k_1-1}=\frac{0,421}{0,338}=1,245.$$

Se ne potrà di poi inferire la ragione delle capacità dell'acido carbonico e dell'aria a pressione costante, ovvero $\frac{c_1}{c}$, perocchè si ha.

$$\frac{c_1}{c}=\frac{c'_1\ k_1}{c'\ k}=\frac{k_1\ (k-1)}{k(k_1-1)}=1,17\,;$$

In tal modo è stata composta la seguente tabella la quale contiene i risultamenti di Dulong.

Nomi dei gas	Ragione delle capacità	Capacità a volumi costanti	Capacità a pressioni costanti
Aria atmosferica	1,421	1	1
Ossigeno	1,421	1	1
Idrogeno	1,421	1	1
Acido carbonico	1,338	1,215	1,17
Ossido di carbonio	1,428	1	1,
Ossido di azoto	1,343	1,227	1,16
Gas olefaciente	1,240	1,754	1,53

Faremo ora conoscere il metodo di Dulong raccomandando ai giovani fisici di meditare la importante memoria da lui pubblicata sul proposito. (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. XLI.).

k essendo la ragione delle capacità per l'aria, e k' per un altro gas, i quadrati delle velocità v e v' del suono nell'aria e nel gas per le temperature t e t' son connessi (§ 353) dalla formola

$$\frac{v'^2}{v^2}=\frac{1+at'}{1+at}\cdot\frac{k'}{k}\cdot\frac{1}{d},$$

essendo d la densità del gas per rispetto dell'aria.

Da un'altra parte i numeri n ed n' delle vibrazioni eseguite nella stessa canna piena d'aria e di gas ed assoggettata alla stessa maniera di vibrazioni, sono connessi (§ 353) con le velocità mercè la formola:

$$\frac{n'^2\ l'^2}{n^2\ l^2}=\frac{v'^2}{v^2};$$

d'onde

$$\frac{n'^2\ l'^2}{n^2\ l^2}=\frac{1+at'}{1+at}\cdot\frac{k'}{k}\cdot\frac{1}{d}.$$

Laonde per avere k' basterà conoscere l, l', t, t', d, k, ed osservare i numeri di vibrazioni n' ed n. Questo appunto hà fatto Dulong con quell'ammirabile precisione che distingue tutte le sue ricerche. La canna vibrante era posta orizzontalmente in una cassa in cui poteasi fare il vuoto per riempirla quindi di quel gas sul quale si volea fare l'esperienza; la canna riceveva il gas per uno dei suoi capi da un gassometro pieno dello stesso gas, e dall'altro riceveva uno stantuffo la cui asta esterna passava entro un pezzo accomodato di stoppa, la giacitura dello stantuffo era per tal modo conosciuta; quindi si argomentava della distanza di esso dall'imboccatura, ed il doppio di questa era la lunghezza dell'onda o della *concamerazione* finale; il gas usciva per apposito forame, e buoni termometri notavano la temperatura. Il numero delle vibrazioni era direttamente osservato mercè una sirena mantenuta all'unisono con la canna vibrante, per lo spazio di quattro minuti, per evitare gli errori provenienti dall'avviarsi e dal fermarsi del computatore.

Dalle formole sembra risultare che coteste maniere di esperienze debbano essere molto proprie a dare il valore di k, cioè la ragione delle capacità dell'aria; imperciocchè si avrebbe (§§ 333 e 355)

$$v^2=\frac{gh}{d}k,\ \text{e}\ v^2=n^2\ l^2.$$

Ma Dulong si è renduto certo che se il numero n delle vibrazioni può essere con molta precisione determinato, non può dirsi lo stesso di l, cioè della lunghezza dell'onda, sia che per determinarla si adoperi una canna chiusa da stantuffo, o una canna aperta, o anche la distanza tra due nodi di vibrazione siccome fu

indicato dal Poisson (*Mémoires de l'Académie des Sciences* 1817). Tutte le velocità che si hanno in tal modo sono troppo picciole paragonate alla velocità data dalla formola del Newton, ponendo 333 per la velocità a 0, siccome vien rifermato dalle sperienze fatte in tutti i luoghi, e prendendo per conseguenza 1,421 per valore di k. Dulong rende ragione di questa discordanza tra la teoria e l'osservazione, per l'incognita curvatura della superficie nodale che termina le onde, e per la incertezza che ne risulta intorno al vero valore di l; fortunatamente i numeri dianzi riportati relativi a' vari gas sono fuori di queste incertezze in grazia della cura con cui Dulong ha dimostrato che le giaciture delle superficie nodali, sono, nella stessa canna, perfettamente identiche ne' gas più diversi; in modo che il valore di l sparisce quando si fa uso della stessa canna e dello stesso modo di vibrazione per tutt' i gas.

Son questi i motivi che indussero Dulong ad accettare per l'aria il numero 1,421 che risulta dalle sperienze atmosferiche sulla velocità del suono, per determinare quindi, mercè questo primo dato, i numeri relativi agli altri gas.

500 *bis*. Clement e Desormes sono stati condotti ad un' altra maniera di esperienze da cui si può eziandio avere la ragione delle capacità dell' aria. (*Journal de Physique*, 1819.) Eccone il tenore.

In un gran recipiente sferico a (fig. 361) l'aria si rende alquanto rarefatta in modo che la sua pressione sia p; indi si apre la grande chiavetta c per fare entrare l'aria fin che giunga all' esterna pressione p', il che dura circa un mezzo minuto secondo; si chiude immediatamente la chiavetta e si osserva la pressione definitiva p'' quando l'aria del globo è giunta alla temperatura dell' ambiente che deve rimanere invariabile; le pressioni $p-p'$ e $p-p''$ si osservano mercè la colonna d'acqua d per averle con maggiore precisione; poi si riducono a colonne di mercurio.

In cosiffatte sperienze, l'aria che era da prima nel globo soffre una diminuzione di volume o una compressione agevole ad essere determinata: sia t la temperatura dell' ambiente; prima dell' apertura l'aria avea una temperatura t, un volume v, ed una pressione p'; dopo l'esperienza quando la temperatura è ritornata a t, ha un volume minore v'' ed una pressione maggiore p'', perocchè è entrata dell' aria esterna; alla stessa temperatura questi due volumi v' e v'' sono in ragione inversa delle pressioni, il che da

$$\frac{v''}{v'}=\frac{p'}{p''};\ \text{d' onde}\ \frac{v'-v''}{v'}=\frac{p''-p'}{p''}=\delta.$$

Tale è dunque la riduzione del volume che la pressione atmosferica p ha fatto subire all' aria.

L' accrescimento di temperatura t' ch' è risultato da questa compressione è stato tale che dissipandosi, la pressione è caduta da p a p''; e ristabilendola la pressione tornerà da p'' a p. Or nello stesso spazio le pressioni essendo proporzionali a' volumi che tendono a stabilirsi si avrà

$$\frac{1+a(t+t_2)}{1+at}=\frac{p}{p''},\ \frac{at_2}{1+at}=\frac{p-p''}{p''}.$$

L' accrescimento di temperatura t_1 deve esser tale, secondo la sua definizione che l'aumento, che genera nel volume primitivo sotto la stessa pressione, sia eguale a δ ovvero a $\frac{p''-p'}{p''}$; questo aumento è

$$\frac{at_1}{1+at};\ \text{dunque}\ \frac{at_1}{1+at}=\frac{p''-p'}{p''}$$

per conseguenza

$$\frac{t_2}{t_1}=\frac{p-p''}{p''-p'};\ \text{e}\ k=1+\frac{p-p''}{p''-p'}.$$

In tal modo Clement e Desormes han trovato $k=1,35$.

Le sperienze si facevano con un globo di 28 litri. Ecco uno de' risultamenti: $p=766^{mm},5$; $p-p'=13^{mm}$; $p-p''=3^{mm},6$.

Con questo metodo si può solo avere una approssimazione, perocchè, sia pure l'esperienza di brevissima durata, vi sarà sempre calorico assorbito dalle pareti del vase; quindi il riscaldamento dell' aria sarà scemato e però p'' apparirà troppo grande e per conseguenza il valore di k riuscirà troppo piccolo. Coteste sperienze nondimeno sono state utili, perocchè conosciuti tali risultamenti Laplace fece fare tra Villejuif e Montlhery le sperienze sulla velocità del suono delle quali abbiamo tenuto discorso (lib. IV, cap. II. e cap. IV).

500 *ter*. La capacità dei gas cambia con la loro elasticità; e siccome ogni compressione svolge calorico, ne segue che la capacità diminuisce, secondo una certa legge in ragione che la pressione aumenta. Cotesta legge secondo Poisson, (*Ann. de Phys. et de chim.*, t. 23, p. 341) può esprimersi con la formola seguente

$$x=c\left(\frac{760}{p}\right)^{1-\frac{1}{k}}$$

c è la capacità sotto la pressione di 760. x la capacità sotto la pressione p, e k il numero 1,421 che appartiene a tutt' i gas semplici, e che si suppone essere indipendente dalla pressione.

501. Abbiano nelle seguenti tabelle riuniti i vari risultamenti ai quali si è giunto sulle capacità de' corpi pel calorico.

I. *Capacità determinata da Dulong e Petit.*
(Metodo di raffreddamento).

NOMI DELLE MATERIE	CAPACITA' prendendo quella dell' acqua per unità.	PESI degli atomi, prendendo l'atomo del l'ossigeno per unità	PRODOTTI del peso di ciascun atomo per la corrispondente capacità
Bismuto	0,0288	13,30	0,3830
Piombo	0,0293	12,95	0,3794
Oro	0,0298	12,43	0,3704
Platino	0,0314	11,16	0,3740
Stagno	0,0514	7,35	0,3779
Argento	0,0557	6,75	0,3759
Tellurio	0,0912	4,03	0,3675
Zinco	0,0927	4,03	0,3736
Rame	0,0949	3,957	0,3755
Nichel	0,1035	3,69	0,3819
Ferro	0,1100	3,392	0,3731
Cobalto	0,1498	2,46	0,3685
Zolfo	0,1880	2,011	0,3780

II. *Capacità determinata da Dulong e Petit.*
(Metodo dei mescugli).

NOMI DELLE MATERIE	CAPACITA' medie tra 0° e 100°	CAPACITA' medie tra 0° e 300
Acqua	1,0000	»
Mercurio	0,0330	0,0350
Platino	0,0335	0,0355
Antimonio	0,0507	0,0547
Argento	0,0557	0,0611
Zinco	0,0927	0,1015
Rame	0,0940	0,1013
Ferro	0,1098	0,1218
Vetro	0,1770	0,1900

III. *Capacità medie del Platino*

(Metodo de' mescugli. Pouillet, ved. pag. 231)

TEMPERATURE	CAPACITÀ MEDIE
100	0,03350
300	0,03434
500	0,03518
700	0,03602
1000	0,03728
1200	0,03818

IV. *Capacità determinate per diversi metodi.*

NOMI DELLE MATERIE	CAPACITÀ	SPERIMENTATORI
Arsenico	0,081	Avogrado
Iodo	0,086	*id.*
Carbonio	0,250	*id.*
Fosforo	0,385	*id.*
Cloruro di sodio	0,230	Dalton
Olio di oliva	0,309	Lavois. e Lap.
Acido solforico (dens. 1,84)	0,350	Dalton
Essenza di tereb. (» —0,87)	0,472	Despretz
Etere solforico (» —0,71)	0,520	*id.*
Alcool (» —0,79)	0,622	*id.*
Acido nitrico (» —1,30)	0,660	Dalton
Legni diversi da 0,500 a	0,650	Mayer

V. *Capacità dei gas determinate da Delaroche e da Berard.*

NOMI DELLE MATERIE	CAPACITA' a volumi eguali, quella dell'aria essendo 1	CAPACITA' a masse eguali, quella dell'aria essendo 1	CAPACITA' a masse eguali, quella dell'aria essendo 1
Aria atmosferica.	1,0000	1,0000	0,2669
Idrogeno	0,9033	12,3401	3,2936
Ossigeno	0,9765	0,8848	0,2361
Azoto	1,0000	1,0318	0,2734
Ossido di carbonio	1,0340	1,0805	0,2884
Acido carbonico	1,2588	0,8280	0,2210
Ossido d'azoto	1,3503	0,8878	0,2369
Gas oliofaciente	1,5530	1,5763	0,4207
Vapore aqueo	1,9600	3,1360	0,8470

VI. *Ragioni delle capacità a pressioni ed a volumi costanti determinate da Dulong.*

NOMI DE' GAS	RAGIONI DELLE CAPACITA'	CAPACITA' A PRESSIONE COSTANTE
Aria atmosferica	1,421	1,00
Ossigeno	1,415	1,00
Idrogeno	1,407	1,00
Acido carbonico	1,339	1,17
Ossido di carbonio	1,428	1,00
Ossido di azoto	1,343	1,16
Gas oliofaciente	1,240	1,53

VII. *Capacità de' corpi semplici e composti, determinate da* REGNAULT.

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ	PESI atomici, l'atomo d'ossigeno essendo 100	PRODOTTO
DETERMINAZIONI PRELIMINARI			
Ottone	0,09391		
Vetro	0,19768		
Acqua	1,0080		
Essenza di terebintina	0,42593		
CORPI SEMPLICI PURI			
Ferro	0,11379	339,21	38 597
Zinco	0,09555	403,23	38 526
Rame	0,09515	395,70	37 849
Cadmio	0,05669	696,77	39 502
Argento	0,05701	675,80	38 527
Arsenico	0,08140	470,04	38 261
Piombo	0,03140	1294,50	40 647
Bismuto	0,03084	1330,37	45 034
Antimonio	0,05077	806,45	40 944
Stagno delle Indie	0,05623	735,29	41 348
Nichel	0,10863	369,68	40 160
Cobalto	0,10696	368,99	39 468
Platino laminato	0,03243	1233,50	39 993
Palladio	0,05927	665,90	39 468
Oro	0,03244	1243,01	40 328
Solfo	0,20259	201,17	40 754
Selenio	0,0837	494,58	41 403
Tellurio	0,05155	801,76	41 549
Iodo	0,05412	789,75	42 703
Mercurio	0,03332	1265,82	42 149
CORPI SEMPLICI MENO PURI			
Urano	0,06190	677,84	41 960
Tungsteno	0,03636	1183,00	43 002
Molibdeno	0,07218	598,52	43 163
Nichel carburato	0,11192	269,68	41 376
— più carburato	0,11631	369,68	42 999
Cobalto carburato	0,11714	368,99	43 217
Acciaio Hausmann	0,11848	339,21	40 172
— fino metallo	0,12728	339,21	»
Ghisa di ferro bianca	0,12983	339,21	44 038
Carbone	0,24111	152,88	36 873
Fosforo	0,1887	196,14	37 024
Iridio impuro	0,03683	1333,50	45 428
Manganese carburatissimo	0,14411	345,89	49 848
LEGHE METALLICHE			
1 piombo 1 stagno	0,04073	1014,9	41 34
1 — 2 —	0,04506	921,7	41 53
1 — 1 antimonio	0,03880	1050,5	40 76
1 bismuto 1 stagno	0,04000	1032,8	41 31
1 — 2 —	0,04504	933,7	42 05
1 — 2 — 1 antimonio	0,04621	901,8	41 67
1 — 2 — 1 — 2 zinco	0,05657	735,6	41 61
1 piombo 2 — 1 bismuto	0,04476	1023,9	45 83
1 — 2 — 2 —	0,06082	1088,2	66 00
1 mercurio 1 —	0,07294	1000,5	72 97
1 — 2 —	0,06591	912,1	60 12
1 — 1 piombo	0,03827	1280,1	48 90

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ	PESI atomici, l'atomo d' ossigeno essendo 100	PRODOTTO
Ossidi RO.			
Prottossido di piombo in polvere	0,03118	1394,5	71,34
— — fuso	0,05089	1394,5	70,94
Ossido di mercurio	0,05179	1365,8	70,74
Protossido di manganese	0,15701	445,9	70,01
Ossido di rame	0,14201	495,7	70,39
— di nichel	0,16234	469,6	76,21
— — calcinato alla fucina	0,13885	469,6	74 60
Media	....	....	72.03
Magnesia	0 24394	258,4	63,03
Ossido di zinco	0,12480	503,2	62.27
Ossidi R^2O^3			
Perossido di ferro (ferro oligisto)	0,16695	978.4	116,35
Colcotar poco calcinato	0,17569	978.4	171,90
— calcinato 2 volte	0,17167	978.4	168.00
— fortemente calcinato			
— — una 2ª volta	0,16814	978.4	164,44
Acido arsenioso	0 12786	1240,1	158,56
Ossido di cromo	0.17960	1003,6	180,01
— di bismuto	0.06053	2960,7	179,22
— d'antimonio	0,09009	1912,9	172,34
Media	....	....	169,73
Allumina (corindo)	0,19762	642,4	126,87
— (Zaffiro)	9,21732	642,4	139,61
OSSIDI RO^2			
Acido stagnico	0,09326	935,3	87,23
— titanico (artifiziale)	0,17164	503,7	86,43
— — (rutilo)	0,17032	503,7	85,79
Media	....	....	86,49
— antimonioso	0,09535	1006,5	95,92
OSSIDI RO^3			
Acido tungstico	0.07983	1483,2	118,38
— molibdico	0,13240	898,5	118,96
— silicico	0.19132	577,5	110,48
— borico	0,23743	436,0	103,52
OSSIDI COMPLESSI			
Ossido di ferro magnetico	0,16780	1417,6	237,87
SOLFURI RS			
Protosolfuro di ferro	0,13570	540,4	73,33
Solfuro di nichel	0,12813	570.8	73,15
— di cobalto	0,12512	570.0	71,34
— di zinco	0,12303	691,4	74,38
— di piombo	0,05086	1495.6	76.00
— di mercurio	0,05117	1467.6	75.06
Protosolfuro di stagno	0,08365	936,5	78,34
Media	....	....	74,51
SOLFURI R^2S^3			
Solfuro d'antimonio	0,08403	2216,4	186,21
— di bismuto	0,06002	2264,2	195,90
Media	....	....	191,06

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ	PESI atomici, l'atomo d'ossigeno essendo 100	PRODOTTO
SOLFURI RS^2			
Bisolforo di ferro	0,13009	741,6	96,45
— di stagno	0,11932	1137,7	135,66
Solfuro di molibdeno	0,12334	1001,0	123,46
Media.	....	....	129,56
SOLFURO R^2S			
Solfuro di rame	0,12118	992,0	120,21
— d'argento	0,07460	1553,0	115,86
SOLFURI COMPLESSI			
Pirite magnetica	0,16023	»	»
CLORURI R^2Cl^2			
Cloruro di sodio	0,21401	733,5	956,97
— di potassio	0,17295	932,3	171,19
Pr. — di mercurio	0,05205	2974,2	154,80
— di rame	0,13827	1234,0	156,83
— di argento	0,09109	1794,2	163,42
Media.	....	....	168,64
CLORURI RCl^2			
Cloruro di bario	0,08957	1299,5	116,44
— di strontio	0,11990	989,9	118,70
— di calcio	0,16420	698,6	114,72
— di magnesio	0,19460	601,0	118,54
— di piombo	0,06641	1737,1	125,35
Pr. — di mercurio	0,06889	1708,4	117,68
— di zinco	0,13618	845,8	115,21
Pr. — di stagno	0,10161	1177,9	119,59
Media.	....	....	118,28
Cloruro di manganese	0,14255	788,5	112,51
CLORIDI VOLATILI RCl^4			
Clorido 1 di stagno	0,14759	1620,5	239,18
— di titanio	0,19145	1188,9	227,63
Media.	....	....	233,40
CLORIDI VOLATILI R^2Cl^6			
Cloruro d'arsenico	0,17604	2267,8	399,26
— di fosforo	0,20922	1720,1	359,86
Media.	....	....	379,51
BROMURI R^2Br^2			
Bromuro di potassio	0,11322	1468,2	166,21
— d'argento	0,07391	2330,0	173,31
Media.	....	....	169,76
Bromuro di sodio	0,13842	1269,2	175,63
BROMURI RBr^2			
Bromuro di piombo	9,05326	2272,8	121,00

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ	PESI atomici, l' atomo d' ossigeno essendo 100	PRODOTTO
IODURI R^2I^2			
Ioduro di potassio	0,08191	2068,2	169,38
— di sodio	0,08684	1869,2	162,30
Pr. — di mercurio	0,03949	4109,3	162,34
— d' argento	0,06159	2929,9	180,43
Pr. — di rame	0,06869	2369,7	162,81
Media.	....	....	167,45
IODURI RJ^2			
Ioduro di piombo	0,04267	2872,8	122,54
— di mercurio	0,04197	2844,1	119,36
Media.	....	....	120,95
FLUORURI RFl^2			
Fluoruro di calcio	0,21492	489,8	105,31
NITRATI $Az^2O^5+R^2O$			
Nitrato di potassa	0,23875	1266,9	302,49
— di soda	0,27821	1067,9	297,13
— d' argento	0,14352	2128,6	305,55
Media.	....	....	301,72
NITRATI Az^2O^5+RO			
Nitrato di barite	0,15228	1633,0	248,83
CLORATI $Cl^2O^5+R^2O$			
Clorato di potassa	0,20956	1532,4	321,04
FOSFATI $P^2O^5+2R^2O$ (Pirofosfati)			
Fosfato di potassa	0,19102	2072,1	395,79
— di soda	0,22833	1674,1	382,22
Media.	....	....	389,01
FOSFATI P^2O^5+2RO			
Fosfato di piombo	0,08208	3681,3	302,14
METAFOSFATO P^2O^5+RO			
Metafosfato di calce	0,19923	1248,3	248,64
FOSFATO P^2O^5+3RO			
Fosfato di piombo	0,07982	4985,8	397,96
ARSENIATI $As^2O^5+R^2O$			
Arseniato di potassa	0,15631	»	»
ARSENIATI DI PIOMBO As^2O^5+3PbO			
Arseniato di piombo	0,07280	5623,5	409,37
SOLFATI SO^3+R^2O			
Solfato di potassa	0,19010	1091,1	207,40
— di soda	0,23115	892,1	206,91
Media.	....	....	206,80

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ	PESI chimici, l'atomo d' ossigeno essendo 100	PRODOTTO
SO^3+RO			
Solfato di barite	0,11285	1458,1	164,54
— di strontiana	9,14279	1148,5	164,10
— di piombo	0,08723	1895,7	165,39
— di calce	0,19656	857,2	168,49
— di magnesia	0,22159	759,5	168,30
Media	....	....	166,15
CROMATI			
Cromato di potassa	0,18505	1241,7	229,83
Bicromato di potassa	0,18937	1893,5	358,67
BORATI $B^2O^6+R^2O$			
Borato di potassa	0,21975	1461,9	321,27
— di soda	0,23823	1269,9	300,88
Media	....	....	311,07
BORATI B^2O^6+RO			
Borato di piombo	0,11409	2266,5	258,60
BORATI $B^2O^6+2R^2O$			
Borato di potassa	0,20478	1025,9	219,52
— di soda	0,25709	826,9	212,60
Media	....	....	216,06
BORATI $B^2O^6+2R^2O$			
Borato di piombo	0,09046	1830,5	163,54
TUNGSTATI			
Wolfram	0,09780	»	»
SILICATI			
Zirconio	0,14538	»	»
CARBONATI CO^2+R^2O			
Carbonati di potassa	0,21623	865,0	187,04
— di soda	0,27275	666,0	181,65
Media	....	....	184,35
CARBONATI CO^2+RO			
Carbonato di calce (spato d' Islanda)	0,20858	631,0	131,61
— — (arragonite)	0,20850	621,0	131,56
Marmo saccaroide bianco	0,21585	631,0	136 20
— — grigio	0,20989	631,0	132,45
Craie bianco	0,21585	631,0	135,57
Carbonato di barite	0,11038	1231,9	135,99
— di strontiana	0,14483	922,3	133,58
— di ferro	0,19345	714,2	138,16
Media	....	....	134,40
Carbonato di piombo	0,08596	1669,5	143,55
Dolomia	0,21743	582,2	126,59

VIII. *Capacità di differenti corpi, determinati da* Regnault.

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ	DENSITÀ
Nero animale	0,26085	»
Carbone di legno	0,24150	»
Coke del Cannel-Coal	0,20307	»
Id. del litantrace	0,20085	»
Carbone dell' antracite del paese di Galles	0,20171	»
Id. *Id.* di Filadelfia	0,20100	»
Grafite nativo	0,20187	»
Id. degli alti forni	0,19702	»
Id. delle storte per gas	0,20360	»
Diamante	0,14687	»
Terebentina	0,4672	»
Terebinto	0,4656	»
Terebiliena	0,4580	»
Camfilena	0,4518	»
Essenza di cedro	0,4879	»
— di arancio	0,4886	»
— di ginepro	0,4770	»
Petrolena	0,4684	»
Acciaio dolce	0,1165	7,8909
Id. temperato	0,1175	7,7982
Metallo delle staffette agro	0,0858	8,5797
Id. *Id.* dolce (temperato)	0,0862	8,6343
Lagrime bataviche dure	0,1923	»
Id. *Id.* ricotte	0,1937	»
Solfo cristallizzato nativo	0,1776	»
Id. fuso da 2 anni	0,1764	»
Id. *Id.* da 2 mesi	0,1803	»
Id. *Id.* recentemente	0,1844	»
Acqua		
Essenza di terebintina	0,4160	»
Soluzione di cloruro di calcio	0,6448	»
Alcoole ord. a 36° n° 1	0,6588	»
Id. più allungato n° 2	0,8413	»
Id. anche più allungato, n.° 3	0,9402	»
Acido acetico concentrato, non cristallizzato	0,6301	»

IX. *Capacità determinata da Regnault.*

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITA'		
	da 20° a 15°	da 15° a 10°	da 10° a 5°
Acqua distillata	«	«	«
Essenza di terebintina	«	«	«
Soluzione di cloruro di calcio	0,6462	0,6389	0,6423
Alcool, n° 1	0,6725	0,6651	0,6588
Id. più allungato, n° 2	0,8518	0,8429	0,8523
Id. allungato anche di più, n° 3.	0,9752	0,9682	0,9770
Alcool comune.	0,6774	0,6540	0,6465
Acido azotico	0,6589	0,6577	0,6609
Mercurio	0,0290	0,0283	0,0282
Terebinto	0,4267	0,4156	0,4154
Essenza di cedro	0,4501	0,4424	0,4489
Petrolena	0,4342	0,4325	0,4321
Benzina	0,3932	0,3865	0,3999
Nitrobenzina	0,3499	0,3478	0,3524
Cloruro di silicio	0,1904	0,1904	0,1914
Id. di titanio	0,1828	0,1802	0,1810
Clorido di stagno	0,1416	0,1402	0,1421
Protocloruro di fosforo	0,1991	0,1987	0,2017
Solfuro di carbonio	0,2206	0,2183	0,2179
Etere	0,5157	0,5158	0,5207
Etere solfoidrico	0,4772	0,4653	0,4715
Etere iodoidrico	0,1584	0,1584	0,1587
Alcool	0,6148	0,6017	0,5987
Etere ossalico	0,4554	0,4521	0,4629
Spirito di legno	0,6009	0,5868	0,5901
Etere iodoidrico	0,1569	0,1556	0,1574
Id. bromoidrico	0,2153	0,2135	0,2164
Cloruro di zolfo	0,2038	0,2024	0,2048
Acido azotico cristallizzabile.	0,4618	0,4599	0,4587

501 *bis. Osservazioni sulle antecedenti tabelle.* — Nel 1819 Dulong e Petit dopo di aver determinato il calorico specifico di vàrî corpi semplici (siccome vedesi nella 1ª delle precedenti tabelle) ebbero la felice idea di moltiplicare questo calorico specifico di ciascuno pel rispettivo equivalente, ed ottennero un numero quasi costante (colonna 4 della tav. 1); essi quindi ne ricavarono questa legge fondamentale: *che pe' corpi semplici i numeri esprimenti il calorico specifico sono in ragione inversa degli equivalenti chimici.* Ma come nella dottrina atomistica gli equivalenti corrispondono allo stesso numero di atomi e sono per conseguenza proporzionali a' pesi degli atomi, ne segue anche che *i numeri dinotanti il calorico specifico sono in ragione inversa de' pesi degli atomi*: vale a dire che si ha $cp = c'p'$, p e p' essendo i pesi degli atomi di due corpi semplici e c e c' le *capacità di questi corpi.* Si vede che cp è la quantità di calorico necessario a cambiare di 1° il peso p' del secondo corpo; ne

segue finalmente esser mestieri di eguali quantità di calorico per far variare di 1° la temperatura de' corpi semplici, o in altri termini che *gli atomi de' corpi semplici hanno perfettamente la stessa capacità pel calorico.*

Sotto quest' ultima forma Dulong e Petit hanno presentata la legge della quale parliamo (*Ann. de Phys. et de Chim. 1819 t. X, p. 405*). Or siccome le capacità generalmente si riferiscono a pesi eguali, mi è sembrato necessario, ad evitare ogni equivoco, indicare il senso che conviene attaccare a queste espressioni.

Nel tempo in cui si fece cotesta importante scoperta i chimici non avevano tutt' i mezzi che ora posseggono per determinare il vero valore degli equivalenti, o il vero peso degli atomi; le leggi tanto notabili dell'isomorfismo scoperte da Mitscherlich non erano conosciute, ed in un gran numero di casi, restava della indecisione sul multiplo che conveniva adottare; se al dì d' oggi le incertezze non son tolte in modo assoluto per tutt' i corpi, si conoscono almeno le condizioni in maggior numero, le più sicure e le più precise alle quali il peso degli atomi deve soddisfare. Per la qual cosa, la legge delle capacità è un altro criterio che si unisce a tutte le analogie chimiche per rifermarle quando esse si accordano, e per far conoscere ch' esse sono le più fondamentali quando non si accordano.

La legge delle capacità intanto non è nè può essere matematicamente giusta, perocchè ci ha delle accidentali cagioni che fan variare la capacità de' corpi semplici.

1° La capacità varia con la temperatura, e varia disugualmente a seconda de' corpi, siccome vedesi nelle tabelle II, III e IX.

2° Essa varia anche secondo lo stato di aggregazione; sul rame ricotto e malleabile, per esempio, Regnault ha trovato 0,0950 e 0,945, nell'atto che lo stesso corpo indurito e fragile dà appena 0,0936 e 0,0933. Questa differenza diviene maggiore per lo zolfo: esso quando è in cristalli naturali ha una capacità di 0,1776, fuso da due mesi l' ha di 0,1803, e fuso di recente l' ha di 1844; una tal differenza diviene ancora più spiccata nel carbonio, perocchè la capacità del diamante è di 0,1469, quella della grafite naturale 0,219 e quella del carbone di legno 0,2415 (tabella VIII).

Laonde facendo pe' diversi corpi semplici il prodotto della capacità per lo peso dell'atomo, si debbono trovare de' numeri le cui ragioni variano anche con la temperatura e con lo stato di aggregazione; vale a dire che la legge della capacità può in ultimo risultamento dare pel peso dell' atomo soltanto un' approssimazione il cui valore resta a determinarsi.

Se ora da' corpi semplici passeremo a' composti, cosa che oggi si può fare in grazia del bel lavoro di Regnault sul proposito, noi perverremo a questa legge generale, che il Regnault ha enunciata come conseguenza della tabella VIII:

« *In tutt' i corpi composti della stessa composizione atomica, e di simile costituzione fisica, il calorico specifico è in ragion inversa de' pesi atomici* ».

Sopra di che ci ha due osservazioni a fare, le quali sono di grave momento per la scienza:

La prima è che questa legge generale non può essere altro fuorchè un'approssimazione, e ciò per le ragioni medesime delle quali di sopra è detto in proposito de' corpi semplici, le quali divengono qui ancora più valide, perocchè sonovi de' corpi composti i quali prendono un rapido accrescimento di capacità secondo che la loro temperatura si eleva: e ciò senza fallo a cagione della loro grande dilatabilità (tabella VIII), ed anche perchè vi sono molti corpi composti la cui aggregazione molecolare può come quella del carbonio passare per istati differentissimi (allumina, carbonato di calce ec.)

La seconda è che il prodotto della capacità per lo peso atomico varia quando si passa da una composizione atomica ad un' altra, o da una costituzione chimica ad un' altra, senza che si possa per ora dar ragione del cangiamento. Così cotesto prodotto varia passando dagli ossidi RO agli ossidi RO^2, RO^3, R^2O^3, ec., lo stesso può dirsi degli altri composti binarii: se esso è quasi costante pe' solfuri, cloruri, bromuri, ioduri e fluoruri di una stessa formola, varia passando da una formola all'altra. Queste osservazioni cadono egualmente sopra i sali di diverse composizioni. Ciò nondimeno tutti questi risultamenti hanno condotto Regnault a considerare la potassa e la soda come aventi una composizione atomica simile a quella degli ossidi di rame e di argento; e quest'analogia si sostiene perfettamente ne' vari composti di sodio e di potassio.

§ 2. *Calorico latente, calorico di combinazione, e mescugli frigorifici.*

502. *Calorico di fluidità.* — Abbiamo già indicato (§ 125) le osservazioni per le quali si riconosce l'assorbimento del *calorico latente* o del *calorico di fluidità* durante la fusione de' corpi. Ora è chiaro che queste quantità di calorico possono essere determinate co' me-

todi de' quali ci siamo giovati per lo paragone del calorico specifico dei corpi; e tra questi metodi quello de' mescugli va agli altri anteposto.

La determinazione del calorico latente è di grave importanza: essa ci farà conoscere delle notevoli attenenze tra la composizione molecolare de' corpi ed il numero delle unità di calorico che essi entro la loro massa dissimulano per l'atto solo della fusione. E pure siffatte ricerche sono state finora molto trascurate; i fisici sonosi tenuti paghi di alcune approssimazioni che non possono al dì d'oggi essere accettate. La scienza dunque aspetta al presente de' dati numerici molto precisi de' quali è interamente priva. Giova per altro sperare che questa dispiacevole laguna possa quanto prima sparire: due egregi giovani professori de la Provostaye e Desains hanno non ha guari pubblicato un eccellente lavoro sul calorico di fusione del ghiaccio, lavoro che fa vedere quanto si può sperare da' buoni metodi di osservazione. Le loro sperienze danno per questo numero fondamentale 79,25 in vece di 75 che da mezzo secolo si era tenuto per vero, dietro le sperienze fatte col calorimetro di Lavoisier e di Laplace. Ci faremo ad esporre il metodo da essi tenuto.

Sia m, il peso dell'acqua, m' quello del ghiaccio, t la temperatura iniziale ossia quella che si avvera nel momento del mescuglio, t' la temperatura finale ovvero quella che interviene quando il mescuglio è finito, x il calorico di fusione del ghiaccio. L'acqua perde in quantità di calorico $m\,(t-t')$, il ghiaccio guadagna $m'\,(x+t')$, si avrà dunque

$$m\,(t-t')=m'\,(x+t')$$

ed

$$x=\frac{m}{m'}\,(t-t')-t'.$$

Tutto riducesi a determinare esattamente i pesi m ed m', e ad ottenere le temperature t e t' tali quali dovrebbero essere, cioè corrette con diligenza da ciò che può derivare dal riscaldamento e dal raffreddamento esterno. Perocchè è chiaro che un errore di un' unità commesso sopra $t-t'$ diventa di parecchie unità sul calorico latente, giacchè m deve esser presa molto più grande di m'; un errore sopra t', supposta esatta la differenza $t-t'$, darebbe sopra di x un errore eguale.

Determinazione de' pesi.—L'acqua del vase ed il termometro sono pesati insieme prima e dopo del mescuglio. La differenza tra i due pesi non dà il peso del ghiaccio, perocchè ne' cinque o sei minuti che dura l'esperienza, si ha un'evaporazione naturale ed anche un'evaporazione particolare proveniente dalla maniera di agitare il mescuglio. Questa cagione di perdita vien determinata per via di antecedenti esperienze; allora notando il tempo che passa tra la prima pesata ed il momento del mescuglio, si conoscerà la prima correzione che si riferisce all'acqua, e, notando in simil guisa il tempo che passa dal momento del mescuglio fino alla seconda pesata, si conoscerà la seconda correzione che si riferisce al ghiaccio, in tal modo il valore di m' è perfettamente conosciuto. Per avere m è mestieri dalla prima pesata togliere da prima il peso dell'acqua svaporata fino al momento del mescuglio, e dopo conviene togliere il peso del vaso e quello del termometro che sono conosciuti e finalmente aggiungere il peso del vaso trasformato in acqua ed egualmente trasformato in acqua il peso della parte del termometro che partecipa alle variazioni di temperatura.

Determinazione delle temperature. — Lo spostamento dello zero ha finora recato errore a cagione del termine t' che entra nel valore di x; è mestieri dunque prima di ogni altra cosa verificare spesso lo zero del termometro di cui si fa uso. La temperatura iniziale osservata non dovrebbe ricevere altre correzioni oltre di questa, se non ve ne fosse una la quale nasce dal non essere l'asta del termometro interamente immersa. La correzione per la temperatura finale è più intricata e domanda altra diligenza: invece di attenersi al metodo delle compensazioni di Rumford, de la Provostaye e Desains hanno adottato il metodo delle velocità da me altre volte seguitato (*Comptes rendus* t. III, p. 785), e che è stato additato di sopra. Sia θ la temperatura finale osservata: si corregge da prima dall'errore dello zero e dell'asta che di noteremo con $+\theta'$, ed indi dall'effetto θ'' del raffreddamento esteriore, in modo che la temperatura t' da porre nella formola è data da

$$t=\theta+\theta'-\theta''.$$

Si giunge ad osservare con esattezza partendo da una tal temperatura iniziale, che quella dopo il mescuglio scenda ad 1° o 2° al di sotto della temperatura dell'ambiente, perocchè in questo caso ci ha un minimo che dura parecchi secondi, stante che il raffreddamento generato dalla fusione delle ultime particelle di ghiaccio fanno allora equilibrio col riscaldamento esteriore. Ora per arrivare al valore della correzione θ'' partendo dall'istante in cui si è menato il ghiac-

cio nel vaso del mescuglio; si osservano, di grado in grado, le temperature descrescenti ed i tempi che vi corrispondono, e mercè le formole (t) del §. 489.

$$t = cb^{-z} \text{ e } v = Mt \log b,$$

si calcolano gli eccessi che avvengono di 10″ in 10″, per esempio, dalla temperatura iniziale sino alla temperatura finale, insieme alle corrispondenti velocità. Siano v, v', v'', ec. coteste velocità, d l' intervallo costante che noi abbiamo supposto di 10″, egli è chiaro che durante il primo intervallo il vase ha perduto, per effetto dell' esterne cagioni, una temperatura vd, poi una temperatura $v'd$ nel secondo, $v''d$ nel terzo: . . , e nel tempo dell'esperienza ha perduto in tutto $d(v+v'+v''...) = +\theta''$; θ'' è positivo, perocchè in questo procedimento, solo le ultime velocità sono negative ed esse sono piccole. Cotesta perdita di temperatura del vase per l' esterne cagioni deve esser tolta dalla temperatura finale osservata θ', per avere il vero abbassamento di temperatura generato dalla fusione del ghiaccio e dal riscaldamento dell'acqua proveniente da tale fusione.

La Provostaye e Desains in queste ricerche sonosi mostrati abili osservatori; i loro numerosi risultamenti offrono una concordanza notabile, ed il numero 79,25 cui sono pervenuti, deve d'ora in avanti esser tenuto come quello ch' esprime il calorico di fusione del ghiaccio.

Il Desains ha trovato 44°, 2 pel punto di fusione, e 5,4 pel calorico di fluidità del fosforo.

Person anch' egli ha fatte delle ricerche interessanti su questo subbietto: ed ecco la tavole de' risultamenti da esso lui ottenuti (*Comptes rendus*, t. XXIII, luglio 1846).

CALORICO DI FLUIDITA'

INDICAZIONE DELLE SOSTANZE	Punto di fusione	Calorico latente dell' unità di peso
Stagno.	235,0	14,30
Bismuto	270,0	12,40
Piombo	332,0	5,15
Zinco	423,0	27,46
Lega di d' Arcet	96,0	5,96
Lega fusibile	145,0	7,63
Fosforo	44,2	4,71
Solfo	115,0	9,17
Azotato di soda	310,5	62,98
Azotato di potassa	339,0	46,18
Fosfato di soda	36,4	54,65
Clorúro di calcio.	28,5	45,79
Cera di api (gialla).	62,0	43,51

502 *bis*. *Calorico di elasticità*. — Con questo nome chiameremo il calorico latente che un liquido assorbe nel convertirsi in vapore: la sua esistenza ci vien dimostrata dalla costanza di temperatura durante l' ebollizione de' liquidi e dal raffreddamento che l' evaporazione produce. Il calorico di elasticità che è proprio di ciascun vapore generalmente si determina col metodo che segue: il liquido si fa bollire ad una temperatura conosciuta t; il suo vapore scorre per la serpentina del calorimetro a (*fig.* 362), simile a quello dei signori Delaroche e Berard; ivi esso condensasi e si raduna nella cassa inferiore b; il tubo dritto v si chiude quando si opera sotto una pressione minore di quella di un' atmosfera dopo di avere fatto il vuoto nello strumento, e può restare aperto quando operasi sotto la pressione atmosferica. Il peso del liquido evaporato si calcola secondo la

perdita che la storta ha fatto, e per riprouva puossi anche pesare il liquido r raccolto nella cassa b. Per evitare le correzioni che riuscirebbero dubbie, si mette da prima il calorimetro ad una temperatura di r° al di sotto della temperatura dell' ambiente θ, e si continua l' esperienza fino a che giunga ad r° al di sopra, badando ad impiegar tempi eguali dall' una e dall' altra parte della temperatura dell' ambiente; allora il calorimetro durante la prima metà dell' esperienza acquisterà tanto calorico dall' esterno per quanto ne perderà durante la seconda metà.

Sia ora m la massa corretta del calorimetro; elevandosi essa di $2r^\circ$, guadagnerà da parte del vapore una quantità di calorico $2rm$: sia m' il peso del vapore giunto nella serpentina, c' la capacità del liquido che risulta dal condensamento dello stesso; questo liquido essendo definitivamente alla temperatura $\theta+r$, ed essendosi condensato alla temperatura t alla quale il vapore entrà nella serpentina, si sarà raffreddato di $t-\theta-r$, ed avrà per conseguenza dato al calorimetro una quantità di calorico $m'c'(t-\theta-r)$. D'altronde nell' atto del condensamento ogni unità della massa m' del vapore avrà abbandonato una quantità incognita x di clorico latente, o in somma $m'x$; si avrà dunque

$$m'x+m'c'(t-\theta-r)=2rm,$$

d' onde ricavasi il valore di x.

Per dare all' esperienza la necessaria precisione, è mestieri principalmente agitare di continuo il liquido del calorimetro mercè l'apposito agitatore, e prendere tutte le possibili precauzioni perchè il vapore non porti delle goccioline liquide le quali non avrebber calorico latente a depositare.

In tal modo si hanno i risultamenti che seguono:

Acqua	537,
Alcool	207, 7
Etere solforico	96, 8
Essenza di terebintina	76, 8;

cioè che un chilogrammo di vapore di questi vari liquidi condensandosi senza mutar temperatura è capace di elevare di 1° un peso d' acqua di 537 chilogrammi, di 207,7, ec.

I tre ultimi risultamenti sonosi avuti dal Despretz; egli aveva avuto 531 pel vapore aqueo; Romford dava 567; Dulong 543. Regnault dà 537; Favre e Silbermann danno 536. Si può dunque, senza tema d'un grande errore, adottare definitivamente 537.

503. Partendo dalla formola fondamentale stabilita da Laplace sulla teoria de' fluidi elastici (*Mécanique céleste*, lib. XII) sono giunto alle relazioni seguente tra i diversi dati che caratterizzano i vapori. (Ved. i *Comptes rendus* de l' Académie des Sciences, 31 maggio 1847).

$$(1)\qquad q-q_1=c_1\,(a+t_1)\,(y-1);$$

$$(2)\qquad q=\frac{a+t}{a+t_1}\left(\frac{p_1}{p}\right)^z;$$

$$(3)\qquad \frac{c}{c_1}=\left(\frac{p_1}{p}\right)^z;$$

$$(4)\qquad \frac{d}{d_1}=\left(\frac{p}{p_1}\right)^{1-z};$$

$$(5)\qquad z=\frac{\log(a+t)-\log(a+t_1)}{\log p-\log p_1};$$

$$(6)\qquad \lambda=\lambda_1+q-q_1-s(t-t_1).$$

In queste formole a rappresenta l' unità divisa pel coëfficiente di dilatazione del vapore; z rappresenta la frazione $\frac{k-1}{k}$, essendo k il *coefficiente di capacità* del vapore, ovvero la ragione di sua capacità a pressione costante alla sua capacità a volume costante; s il calore specifico del liquido che genera il vapore; q e q_1 sono le quantità assolute di calorico che possiede 1 chilogrammo di vapore alle tensioni massime p e p_1 ed alle corrispondenti temperature t e t_1; d e d_1 dinotano, nelle stesse condizioni, le densità del vapore; c e c_1 il calorico specifico a pressione costante; ed in fine λ, λ_1 indicano il calorico latente.

Ho fatto inoltre vedere:

1.° Che se nell' equazione (5) si sostituiscano in luogo di p e p_1 due tensioni massime qualunque, e per t e t_1 le temperature corrispondenti, si ottiene per z una serie di valori crescenti o decrescenti, nessuno dei quali può essere esatto;

2.° Che il valore di z è minore del più piccolo de' valori di questa serie, o maggiore del più grande;

3.° Che nel primo caso la differenza $q-q_1$ delle quantità di calorico è crescente, a misura che si eleva la temperatura; e che al contrario, nel secondo caso, essa è decrescente; ciò che somministra pe' vapori due tipi differenti uno, cioè, a calorico crescente, l' altro a calorico decrescente;

4.° Che il vapore d' acqua appartiene al primo tipo, per modo che 1 chilogrammo di vapore d' acqua, presso al massimo di ten-

sione, contiene una quantità assoluta di calorico tanto più grande, per quanto più elevata è la temperatura;

5° Che l'acido carbonico appartiene, all'opposto, al secondo tipo, vale a dire, che 1 chilogrammo di vapore d'acido carbonico, preso al massimo di sua tensione, contiene una quantità assoluta di calorico, tanto più piccola per quanto più elevata è la sua temperatura:

6.° Che in virtù dell'equazione (6) i calorici latenti vanno annessi alle quantità assolute di calorico, in modo che, spesso, basta conoscere due calorici latenti d'un vapore corrispondenti a temperature alquanto lontane per scovrire a quale de'due tipi esso s'appartenga. In questo modo ho trovato che pel vapore d'acqua, alla temperatura zero, il calorico latente $\lambda_1 = 560$; e poichè si sa che a 100° si ha $\lambda = 537$, sarà, per conseguenza,

$$q - q_1 = 100 - 23 = 77,$$

il che c'insegna, che il chilogrammo di vapore d'acqua al massimo, a 100°, contiene 77 unità di calorico di più che a la temperatura zero.

Con questi dati si può determinare il valore di k che parmi sia compreso tra

$$k = 1.020 \text{ e } k = 1.030;$$

e così facile diviene il determinare i calorici specifici a pressione costante, e le densità corrispondenti a pressioni date.

Duolmi non poter qui dare maggiori sviluppi a questa importante discussione; e mi conteterò d'indicare brevemente il metodo di cui mi son servito per determinare i calorici latenti alla temperatura *zero*. L'apparecchio è rappresentato dalla fig. 6 della tav. 38; » a è un tubo di vetro sottile di circa 1 centimetro di diametro e 20 centimetri di lunghezza, d'un peso conosciuto, contenente alcuni grammi d'acqua pesati con molta diligenza, e che son destinati alla vaporazione. Per raccorre il calorico latente che essi devono prendere nel cangiamento di stato, s'immerge il tubo in un bagno freddo sino ad una temperatura prossima allo zero, e se ne osserva la legge del riscaldamento; cotesto bagno si compone d'un centinajo di grammi d'acqua contenuta in una sottile campana di vetro b di 4 in 5 centimetri di diametro e di sufficiente altezza. A fine d'impedire la condensazione dei vapori esterni sulle pareti della campana, essa è accomodata con un turacciolo in un vase cilindrico di vetro c di 12 in 15 centimetri di diametro, e d'una altezza sufficientemente grande perchè lo strato d'acido solforico che ne covre il fondo non eserciti un'azione troppo diretta sulla parte inferiore della campana. S'evita così tanto la condensazione de' vapori che l'effetto delle correnti d'aria, che turberebbero entrambi la legge del riscaldamento.

« L'acqua del bagno deve avere un livello di alcuni centimetri più alto di quello dell'acqua nel tubo di vaporazione; essa deve essere convenientemente agitata mercè un agitatare g; e la temperatura ne è indicata da un termometro t, il quale osservasi col catetometro.

« Disposte così le cose, si osserva con diligenza la durata del riscaldamento da mezzo grado a mezzo grado, da 3 in 4 gradi, per esempio, sino a 7 in 8. Nel tempo di questo primo periodo, non v'ha vaporazione alcuna nel tubo; e comunque comunicasse con la macchina pneumatica, o piuttosto con una campana sotto la quale v'ha dell'acido solforico concentrato, pur tuttavolta il vôto non è formato ancora. Giunto il riscaldamento ad 8 gradi, comincia il secondo periodo, facendo rapidamente il vôto, ma con molta precauzione, affinchè l'ebollizione sia moderata, senza sòprassalti o versamenti di liquido. Immediatamente il corso del riscaldamento si rallenta; potrebbesi fare eziandio ritadare il termometro a 7°,5, o almeno mantenerlo nelle vicinanze di 8 gradi per 10 o 12 minuti, che sono necessari alla evaporazione di 1 in 2 grammi d'acqua; si restituisce allora l'aria, e per maggior sicurezza nel tempo di questo terzo ed ultimo periodo, continuasi ancora ad osservar la legge del riscaldamento sino a 10 o 11 gradi, essendo di circa 20 gradi la temperatura dell'ambiente.»

« Son sufficienti coteste indicazioni, senza entrare in più minuti dettagli, per mostrare che questo metodo raggiunga lo scopo. Conoscendo, con una nuova pesata, il peso dell'acqua vaporizzata; conoscendo il tempo pel quale il bagno, insieme a tutto ciò che lo costituisce, è stato mantenuto tra 7 a 8 gradi per effetto dell'evaporazione, ed il calorico che ha dovuto ricevere in quest'intervallo, è facile dedurne la quantità di calorico che l'evaporazione gli ha tolto. »

» Parecchie sperienze, i cui risultamenti sono molto concordanti, mi danno circa 560 unità pel calorico latente del vapore d'acqua a zero gradi. »

« La difficoltà principale di queste sperienze risulta da un fenomeno, del quale, deggio confessarlo, non avevane tenuto sufficiente conto in ciò che io prevedeva. I preparatori tanto si affaticano per fare riuscire, nelle le-

zioni, l'esperienza di Leslie, che io non mi aspettavo incontrare un ostacolo nella congelazione per mezzo del vôto; ma ciò avviene col fatto. Il liquido che fornisce il vapore si trova, come lo abbiam detto, circondato dall'acqua del bagno, la cui temperatura è di 7 in 8 gradi; e che, di più, è vivamente agitato, soprattutto intorno al punto ove il freddo si genera; malgrado questo considerevole riscaldamento, lo strato superficiale si congela continuamente, quando l'operazione non si conduce con sufficiente diligenza, e sovente avviene che essa formi allora come una specie di stantuffo, il quale essendo lanciato dalla forza elastica dell'acqua agghiacciata che è al di sotto, giunge, talvolta, sin nella macchina pneumatica. Non solo bisogna evitare questa causa d'errore, ma bisogna dippiù stare accorto perchè nessuna particella di liquido venga lanciata, in virtù dell'ebollizione, contro le pareti del tubo, al di sopra del livello dell'acqua del bagno. Si ottiene questo mettendo nel liquido una specie di lento turacciolo, formato di sottili fili di platino, ed un altro simile ponendolo un pò al di sopra della superficie di esso liquido, ma al di sotto del livello del bagno.»

503 *bis*. Il Regnault ha ultimamente pubblicato (agosto 1847) un gran lavoro, il cui principale subbietto è la determinazione delle forze elastiche e de' calorici latenti del vapore d'acqua, dalla più bassa temperatura sino a quelle prossime a 200°. Per le forze elastiche, l'accordo quasi perfetto de' risultamenti di lui con quei già conosciuti di Dulong ed Arago, giustificano la confidenza unanime che in essi si era riposta. Per i calorici latenti le sperienze del Regnault non sono meno nuove per la disposizione degli apparecchi, e i metodi di osservazione, che per le masse considerevoli sulle quali ha egli operato.

Ho procurato di dare un'idea del suo apparecchio nelle figure 2, 3, e 4 della tav. 38. La figura 4 raffigura l'insieme; la fig. 2 rappresenta un primo taglio verticale de' due calorimetri; e la fig. 3 un secondo taglio perpendicolare al primo, e che passa per la chiave di distribuzione.

La fig. 4 mostra le sei parti principali dell'apparecchio, cioè:

1.° *a*, fornello e caldaja;

2° *b*, grande riserbatojo d'aria compressa, destinato ad esercitare pressione sul liquido della caldaja, per ritardare l'ebollizione e portarla sino a 200°;

3° *c*, manometro indicante la pressione dell'aria che preme sul liquido della caldaja, e per conseguenza la tensione del vapore quando l'ebollizione ha luogo:

4° *d*, *d'* sistema di due calorimetri;

5° *e* condensatore posto in una vasca d'acqua fredda, che, da una parte, serve a trasmettere alla caldaja la pressione del riserbatojo ad aria, e dall'altra a ricevere il vapore, che ha servito a scaldare i tubi di comunicazione sino all'entrata de' calorimetri, e condensarlo;

6° *f*, aggiustamento di cinque cubi 1, 2, 3, 4, 4'; pel tubo 1 si riceve la pressione del riserbatojo ad aria; pel tubo 2 si trasmette questa pressione al manometro; pel tubo 3 al condensatore, dapprima, e quindi per 3' al condensatore della caldaja, pe' tubi 4 e 4' ai calorimetri *d* e *d'*.

È inutile entrare in tutti i particolari della costruzione; basterà solo il dire che la caldaja è di lamiera di 12 millimetri di grossezza, capace di 300 litri, e ne riceve soltanto 150 di acqua; che il riserbatojo ad aria è fatto similmente di lamiera, che esso contiene 600 litri, ed una tromba ad aria, sempre pronta, vi mantiene la pressione voluta; che il condensatore contiene 60 litri, ed ha un tubo di livello *v'* per osservare il corso della distillazione, e che l'acqua continuamente si rinnova intorno ad esso per mezzo del tubo a sifone 6.

Dobbiamo però esaminar particolarmente la disposizione de' calorimetri *d* e *d'*, che vedesi dettagliata nella fig. 2. Il vapore vi giunge per la chiavetta di distribuzione *g*; esso entra nel primo globo *h* passa nel secondo *i* e da questo nella serpentina *k*, che va a terminare comunicando col tubo ad aria 4, il quale viene dall'aggiustamento *f*; un tubo che parte dal secondo globo e scende fuori del calorimetro porta l'acqua di condensazione in un globo di vetro *l*, fig. 2 e 3. Questo apparecchio condensatore è inviluppato da una massa d'acqua di continuo agitata, la cui temperatura è indicata da buoni termometri; conoscendo il peso dell'acqua e di tutti i pezzi del calorimetro, il peso del vapore condensato, e l'elevazione di temperatura prodotta, si calcola coi metodi più innanzi indicati, e facendo tutte le correzioni, le quantità di calore abbandonato da 1chi di vapore, nelle condizioni dell'esperimento.

La massa d'acqua de' calorimetri è di 66 chilogrammi, essa determinasi mercè la staza *f*, che è munita d'un imbuto, e che riceve l'acqua da un riserbatojo superiore. Ad ogni sperienza, si vuotano i calorimetri per mezzo delle loro chiavette inferiori. Per riempirli, ba-

sta voltare la chiavetta inferiore della staza e quella del tubo pel quale essa comunica col calorimetro.

La chiavetta di distribuzione *g* riceve il vapore della caldaja per mezzo d'un tubo di comunicazione, il quale, per prender solo vapore secco, s'apre nel centro della massa di vapore, dopo aver fatto parecchie circonvoluzioni interne. All' uscire dalla caldaja, questo tubo *m* è esso pure iviluppato da un tubo più largo *m'*, che lo segue sino al punto in cui arriva alla chiavetta di distribuzione, fig. 3. A vie meglio assicurare la circolazione del vapore in cotesto tubo *m'*, si adatta, nelle vicinanze della sua estremità superiore, un tubo laterale *n'* fig. 3, che va a comunicare col tubo 3' del condensatore, fig. 4; pel quale tubo 3' si comunica la pressione dell'aria nell'interno della caldaja, come più innanzi si è detto; per esso pure passa il vapore che va al condensatore *c*. Intanto il vapore che attraversa il tubo *m* va dapprima a depositarsi nella camera anulare della chiavetta *r* per riscaldarne tutti i pezzi; da quivi, finchè la chiavetta non è aperta, passa nel tubo *n*, fig. 3, e da questo al tubo 3', al pari di quello che viene dal tubo *n'*. Ma quando si è riscaldato il tutto, e che si è sul punto di procedere all'esperienza, si chiude la chiavetta con la quale termina il tubo *n* vicino alla sua unione col tubo 3', ed infine si apre la chiavetta di distribuzione per far passare il vapore in uno de' calorimetri. Finita questa sperienza, si volta per una mezza circonferenza la chiavetta di distribuzione, a fine di metterla in comunicazione con l' altro calorimetro, e si ripetono alternativamente le sperienze per prendere una media de' risultamenti.

Lo stesso apparecchio ha servito al Regnault per le pressioni minori di quella dell' atmosfera.

Ecco la tavola de' risultamenti da esso lui ottenuti.

Temperature	Calorico latente
0	607
10	600
20	503
30	58[illegible]
40	579
50	572
60	565
70	558
80	551
90	544
100	537
110	529
120	522
130	515
140	508
150	501
160	494
170	486
180	479
190	472
200	464
210	457
220	449
230	442

Cotesti calorici latenti sono corretti degli aumenti di capacità che prende l' acqua liquida a misura che la temperatura si eleva; ma gli aumenti sono sì piccoli che si può disprezzarli senza errore sensibile, e basta, in conseguenza, aggiungere a ciascun calorico latente, la temperatura corrispondente per avere, secondo il Regnault, la totale quantità di calorico che possiede, a questa temperatura, 1chi. di vapore d' acqua allo stato di saturazione.

Cotesti risultamenti che io non conoscevo quando feci le ricerche di cui più innanzi ho parlato, s' accordano benissimo coi numeri che dalle mie sperienze deduconsi; ma per completare i dati che entrano nelle mie formole, sarebbe solo sufficiente che il calorico specifico del vapore e quello del vapore d'acqua in particolare, fossero determinati con maggior precisione.

503 *ter. Calorico latente di varii vapori.* I signori Favre e Silbermann han determinato il calorico latente di diversi vapori con un apparecchio semplice, e che parmi capace d'una grandissima esattezza, quando è messo in opera da mani esperte. Esso è raffigurato nella fig. 5 tav. 38, ed è un termometro a *muffola*, ma un termometro il cui riserbatojo contiene 8 in 10 chilogrammi di vapore. *a*, pallone di vetro che porta una *muffola*. *b*, uno stantuffo d'immersione *c* ed un tubo indicatore orizzontale *df*, che va a terminare in un riserbatojo *g*. Il globo è in una cassa di legno, poggiasi sopra uno zoccolo di sughero, e trovasi da per ogni dove circondato di lanugine o di pelle di cigno.

La *muffola* è un tubo di rame, sul quale si è fatto depositare un ossido di piombo, per renderlo inattaccabile dal mercurio; esso è lutato all' orificio con visco marino, e con-

giunto al suo estremo con un tubo di vetro *t;* il tubo indicatore è anch'esso aggiustato col lato marino; lo stantuffo passa per una scatola guarnita di stoppa ben fatta, e si regola mercè la vite *v*.

Quest' apparecchio si gradua per quantità di calore, e non per differenze di temperature: e per far ciò si versano nella *muffola*, per esempio, 10 grammi d' acqua bollente, osservandone con diligenza la temperatura, quando l'equilibrio si è stabilito: allora si conosce quanto calorico à ricevuto l' apparecchio, e per conseguenza quale sia la lunghezza del tubo indicatore corrispondente ad una unità di calore. Allorchè questa lunghezza è di 2 in 3 decimi di millimetro, la sensibilità è sufficiente.

La figura 5 è disposta per eseguire la ricerca de' calorici latenti. Il liquido da sperimentarsi è nella pipetta *p*: quando esso è in ebollizione, il buco della pipetta si connette all'estremità d' un sottile tubo di vetro che trovasi nella *muffola* circondato di mercurio; il vapore si condensa in questo tubo, ed il calorico che esso abbandona si osserva sul tubo indicatore; quindi si toglie dalla *muffola* il tubo di vetro per pesarlo, e conoscere il peso del vapore condensato.

Quando vogliasi conoscere il calorico specifico de' liquidi, vicinissimi all' ebollizione, basta di capovolgere la pipetta come lo indica la fig.5 in *p'*; allora il liquido cade nella *muffola* e il tubo indicatore farà conoscere il numero d' unità di calore dato all'apparecchio. Ecco i risultamenti ottenuti dai signori Favre e Silbermann.

NOMI DELLE SOSTANZE	Temperatura d' ebollizione	Calorico specifico	Calorico latente
Acqua	100°	1	536
Carburo d' idrogeno	200	0,49	60
Id	250	0,50	60
Spirito di legno	66,5	0,67	264
Alcool assoluto	78	0,64	208
Alcool valerico	»	0,59	121
Alcool etalico	»	0,51	58
Etere solforico	38	0,50	91
Etere valerico	113,5	0,52	69
Acido formico	100	0,65	169
Acido acetico	120	0,51	102
Acido butirrico	164	0,41	115
Acido valerico	175	0,48	104
Etere acetico	74	0,48	106
Butirrato di Metilene	93	0,49	87
Essenza di terebentina	156	0,47	69
Terebinto	156	0,52	67
Essenza di cetro	165	0,50	70

504. *Calorico di combinazione.* — Da ogni combinazione chimica nasce calore o freddo. Questa capitale verità è fermata sull' unione de' fatti che la chimica ha potuto raccogliere e nella natura inorganica e nella vegetazione delle piante e nell' accrescimento de' corpi viventi e nel continuo rinnovamento della loro materia ponderabile. Tutte queste quantità di calorico manifestate o assorbite or per l'intima unione degli elementi materiali, or per la separazione de' medesimi, possonsi paragonare e misurare come il calorico specifico ed il calorico latente.

Ci faremo successivamente ad indicare i la-

veri fatti sul proposito da Lavoisier e de Laplace, Rumford e Despretz; da Dulong, in una memoria postuma e più tardi da'Hess, Andrews e Graham, sulle combinazioni per via umida.

Lavoisier e de Laplace eransi serviti del calorimetro col ghiaccio; Rumford adoperava uno strumento più semplice il quale per certi corpi può dare buoni risultamenti, qualora s'abbia cura di far tutte le correzioni. Questo strumento è dinotato dalla figura 363; il medesimo non differisce, salvo per la forma, da quello adoperato per determinare il calorico latente dei vapori; la maniera di fare l'esperienze è perfettamente la stessa.

Nel calorimetro di Rumford la serpentina è orizzontale affinchè i prodotti della combustione non si sperdano troppo presto, e l'entrata *a* della serpentina è fornita di una maniera d'imbuto in cui ponsi il corpo in combustione. Se questo sia l'olio o l'alcool, l'esperienze riusciranno facilissime: pongonsi questi corpi in una piccola lucerna, la quale si pesa prima e dopo l'esperienza per sapere il peso del corpo bruciato; la fiamma ed i prodotti della combustione s'introducono nelle curvature della serpentina; si trascura il calorico che conservano nell'uscire, e per calorico sviluppato si prende $2rm$, esprimendo con m la massa d'acqua corretta del calorimetro, e con $2r$ l'elevazione di temperatura che esso riceve partendo da $r°$ al di sotto della temperatura dell'ambiente per elevarsi di $r°$ al di sopra.

La seguente tavola contiene i risultamenti avuti da Rumford (R) seguendo questo metodo, e quelli avuti da Lavoisier e Lapalce (LL) per mezzo del calorimetro; i tre risultamenti avuti dal Despretz (D) sono stati ricavati con metodo simile a quello di Rumford.

Tavola delle quantità di calorico sviluppate dalla combustione di varie materie.

NOMI DELLE MATERIE	ELEVAZIONE DI TEMPERATURA che 1 gr. di ciascuna materia bruciando con l'ossigeno comunicherebbe ad 1 gr. d'acqua.		ELEVAZIONE DI TEMPERATURA che 1 gr. d'ossigeno, bruciando ciascuna materia, comunicherebbe ad 1 gr. d'acqua
Ferro	»	D.	5325
Idrogeno	23400°	LL.	2910
id.	»	D.	2578
Olio d'olive	11166	LL.	3696
id.	9044	R.	2993
Cera bianca	10500	LL.	3355
id.	9479	R.	3029
Olio di colza puro	9307	R.	»
Sego	8369	R.	»
id.	7186	LL.	»
Etere solforico	8030	R.	3136
Fosforo	7500	LL.	5885
Carbone	7226	LL.	2722
id.	»	D.	2967
Nafta	7338	R.	»
Alcool a 42° Baumé	6195	R.	3019
id. più acquoso	5422	R.	»
id. a 33°	5261	R.	»
Legno secchissimo	4314	R.	3093

505. *Risultamenti di Dulong.* — Dulong fu tolto alla scienza prima che ponesse termine al suo grande lavoro sul calorico svolto dalla combustione de' corpi. Per buona ventura si è potuto raccogliere i principali risultamenti cui era già pervenuto, e mercè le indicazioni di Cabart che lo avea assistito nelle sperienze, si può almeno formarsi un' idea del metodo da lui stimato migliore (*Ann. de Phys. et de Chim.*, 1843, t. 8).

Il calorimetro di Dulong è espresso dalla figura 8 della tavola 38; esso è composto da una grande cassa rettangolare xy di 11 litri di capacità da esser ripiena di acqua, e dell'apparecchio di combustione propriamente detto, che trovasi da quest' acqua da per ogni dove circondato. L' apparecchio di combustione è una camera prismatica rettangolare a di rame sottile, alta 25 centimetri e la cui base è lunga 10^c larga 7^c, 5; essa è dotata di opportuna appendice per introdurre gli elementi che si debbono bruciare, e per fare uscire i prodotti della combustione quando sono volatili.

L' ossigeno giunge secondo il bisogno per due cannelli, l' uno verticale g che termina dalla parte di sopra in una specie di ghiera conica e che si appiattisce per entrare nel prisma alquanto al di sotto della sua base; l' altro d che si apre nel mezzo della base medesima.

I corpi combustibili gassosi arrivano per lo becco b che varia con la combustibilità dei gas.

I corpi combustibili liquidi son contenuti in un tubo di vetro chiuso all' un de' capi; alcuni fili di cotone sono immersi nel liquido.

Non si sa in che modo accendevansi i gas ed i liquidi.

I combustibili solidi si dispongono diversamente; il ferro è avvolto a spira; gli altri metalli sono contenuti allo stato pulverulento in una coppa di rame o di platino; si mescolano con una materia inerte quando potrebbero aggiutinarsi. Si accendono con un pezzetto di esca.

Il carbone non potendosi accendere in questo modo, si taglia a coni; la punta del cono si accende in una fiamma ad alcool e tosto si porta nella camera di combustione.

Una finestra laterale f, chiusa con una lamina di vetro permette di osservare ciocchè è nello strumento durante l' esperienze.

Durante la combustione i gas si svolgono per la serpentina s, la quale parte dal fondo, si ripiega per sette o otto volte sopra se stessa con piccola inclinazione, discende verticalmente indi, risale e termina slargandosi alquanto da poter ricevere un termometro t'. I gas dopo di aver data la loro temperatura è scono per lo cannello laterale p per andare nel gassometro di svolgimento.

La camera di combustione termina in alto con un canaletto anulare in cui va collocato del mercurio ordinato a fare chiusura idraulica.

Due termometri t, simmetricamente disposti danno la temperatura dell' apparecchio.

Un agitatore la cui asta è in k è ordinato a mescolare tutta la massa d' acqua per avere una temperatura uniforme.

Pare che Dulong abbia adottato il metodo di Rumford nelle sue osservazioni.

La seguente tabella contiene i risultamenti delle sue sperienze.

Tavola delle quantità di calorico sviluppato dalla combustione secondo Dulong.

SOSTANZE	CALORICO GENERATO DA			
	1 litro	1 gr. di combust.	1 litro di ossigeno	1 gr. di ossigeno
Idrogeno	3106 *	34601	6212	4325
Gas delle paludi . .	9587 *	13350	4793	3337
Ossido di corbonio . .	3130 *	2490	6260	4358
Gas oliofaciente . . .	15338 *	12203	5113	3560
Alcool assoluto . . .	14375 *	6962	4792	3336
Carbone	3929 *	7295	3929	2735
Essenza di trementina .	70607 *	11567	5043	3511
Essenza di trementina .	66145	10836 *	4710	3279
Etere solforico	33353	10042	5770	3878
Etere solforico . . .	34335	9431 *	5256	3659
Cianogeno	12270 *	5244	6135	4271
Olio di olive . . .	»	9862 *	»	»
Zolfo	»	2601 *	»	2600
Ferro	»	»	6216 *	4327
Stagno	»	»	6508 *	4531
Protossido di stagno .	»	»	6477 *	4509
Rame	»	»	3722 *	2591
Antimonio	»	»	3130 *	2179
Zinco	»	»	5484 *	3818
Cobalto	»	»	7577 *	5275
Nichel	»	»	5721 *	3983
		»	5323 *	3706

Per ciascuna sostanza il numero segnato con asterisco * è la media de' risultamenti dati da Dulong. Questo numero talvolta corrisponde ad un litro; talvolta ad un grammo di combustibile, e pei metalli corrisponde ad un litro di ossigeno combinato col metallo. Pel carbone, l' alcool, l' etere e l' essenza, il dato di un litro di vapore non risulta direttamente dell' esperienza: esso è stato trovato mercè un calcolo di cui Dulong non ha dato gli elementi.

Carbone. Dulong dice che un litro di vapore dà 7858. Egli è certo, come ha fatto notare Ebelmen (*Comptes rendus*, t. 4, p. 346), che questo litro di vapore corrisponde a 2 litri di acido carbonico e quindi ad un peso di circa 1 grammo. In questo modo il vapore del carbone avrebbe una densità doppia di quella generalmente adottata da' chimici. Ecco perchè ho preso 3929 pel calorico generato da 1 litro di vapore di carbone; ritenendo che vi sia così un litro di vapore in un litro di acido carbonico e che la densità di tale vapore risulti da questo dato. Ancora secondo le sperienze di Dumas (*Ann. de Phys. et de Chim.* 1841, t. I.), io ho preso 75 per l' equivalente del carbonio, e però 0,4146 per la densità del suo vapore per rispetto all' aria, e 0gr,5386 per lo peso di 1 litro a zero sotto la pressione di 760, il che dà 7295 per lo calorico generato da 1 grammo.

Alcool assoluto. — Adottando con Boussingault e Dumas 1,1057 per la densità dell' ossigeno, e 0,0691 per quella dell' idrogeno, la densità del vapore acqueo è 0,6219; quella del bicarboro d' idrogeno è 0,9674, e quella del vapore d' alcool 1,5893; onde un litro pesa 2gr.0646. D' onde segue 6962 per lo calorico svolto da un grammo d' alcool.

Essenza di trementina. — Co' dati antecedenti, la densità del vapore di essenza composta di 10 volumi di carbonio ed 8 d' idrogeno, è 4,6988, un litro pesa dunque 6gr,1042; d' onde segue 11567 per lo calorico dato da 1gr. Ma per la loro combustione i 10 litri di carbonio domandano 10 litri di ossigeno; gli 8 litri d' idrogeno ne domandano 4; son dunque questi 14 litri di ossigeno che producono le 70607 unità di calorico date da Dulong; il che dà 5043 per un litro di ossigeno, e per un grammo il numero 3514 dell' ultima colonna. Osserviamo per altro che Dulong nell' atto che dà 70607 per un titro di vapore di essenza, dà eziandio 10836 per un grammo di vapore. Partendo da questo secondo dato si trovano i numeri scritti nella seconda linea relativa all' essenza. La discordanza tra cotesti risultamenti proviene certamente dall' avere Dulong adottata un' altra densità ne' suoi calcoli. Siccome è da presumere che l' esperienza sia stata fatta a peso, così il numero 10836 si può considerare come relativo ad un grammo, essendo un dato più diretto del numero 70607 relativo ad un litro.

Etere solforico. — Le antecedenti osservazioni si applicano perfettamente all' etere che Dulong ha pure dato sotto due forme, cioè 33353 per litro, e 9431 per un grammo. Il primo numero dà 5570 per un litro di ossigeno; il secondo dà 5256, d' onde si ha una differenza di circa un ventesimo.

Metalli. — Io non ho calcolato le quantità di calorico date da un litro di vapore metallico, perocchè sarebbe stato mestiere discutere il vero peso degli atomi, e le ipotesi le più plausibili intorno al volume di vapore che si combina con un litro di ossigeno; mi è sembrato anche poco utile calcolare le quantità di calorico dato da un grammo di varî metalli, perocchè per questo sarebbe stato necessario esser sicuri del prodotto che si è formato durante la combustione, e Dulong lo ha indicato solo per l' antimonio, che pareva aver dato solo l' acido antimonioso. Ognuno intende quanto importi nelle ricerche di questo genere il conoscere con la massima precisione i prodotti che sonosi formati. È per questo che io riferirò ancora le osservazioni seguenti le quali tanto più sono pregiate in quanto che sono state fatte da Dulong.

Osservazioni diverse. — « L' ossido di carbonico brucia male con l' ossigeno: esso ha dovuto esser mescolato con una metà del suo volume d' idrogeno. »

« Nella combustione del cianogeno si forma una piccola quantità di acido nitroso, ed in quella dello zolfo una piccola quantità di acido solforico anidro. »

« Nella combustione del protossido di stagno, pare essersi formata una combinazione tra il protossido ed il perossido. »

« Facendo bruciare un litro d' idrogeno con l' ossido di azoto sonosi avute 5220 unità di calorico; un litro d' ossido di carbonio con l' ossido di azoto dà 5549 nelle due sperienze, e si è generato dell' acido nitroso in quantità sensibilissima. »

Malgrado la importante osservazione di Dulong sulla formazione dell' acido nitroso, cotesti due risultamenti sembrano difficili a spiegare, perocchè tutto sembra indicarci che l' ossigeno non può separarsi dall' azoto del protossido di azoto senza che vi sia assorbimento di calorico. Laonde se non vi fosse nello stesso tempo una sopraossigenazione dell' azoto, il litro d' idrogeno darebbe meno di 3000 unità di calorico; conviene dunque che la sopraossigenazione dell' azoto ne produca quasi altrettanto per arrivare al numero osservato 5220.

Combustione de' corpi composti. — La seguente tabella contiene le quantità di calorico che i gas o vapori composti dovrebbero svolgere se gli elementi che li costituiscono si comportassero per rispetto all' ossigeno come elementi isolati o liberi.

		Calorico che darebbero gli elementi	Calorico dato dalle sperienze	Differenza
Gas idr. carbonato	CH^2	10211	9587	— 643
Gas olefaciente	C^2H^2	14070	15338	+ 1268
Alcol assoluto	$C^2H^2+HO^{\frac{1}{2}}$	14070	14375	+ 375
Essenza di trem.	$C^{10}H^8$	64138	66145	+ 2007
Etere	$2C^2H^2+HO^{\frac{1}{2}}$	28140	31335	+ 3195
Cianogeno	C^2Az	7858	12270	+ 4412

Ognuno avrebbesi aspettato di vedere le quantità di calorico date da' composti sempre minori di quelle degli elementi, perocchè se si svolge del calorico quando il carbonio si combina con l'idrogeno o con l'azoto, vi dovrebbe essere calorico assorbito quando questi elementi si separano per recarsi sull'ossigeno. E pure osservasi il contrario: i composti danno quasi sempre più calorico de' loro elementi; cotesti eccessi sono sempre considerabili per l'essenza, per l'etere e pel cianogeno; quì sicuramente vi concorre la formazione dell'acido nitroso; forse in altre combustioni vi saranno prodotti analoghi: è questa una quistione che meriterebbe di essere sciolta.

Ossido di carbonio. — Quando un corpo è atto a combinarsi con più equivalenti o più atomi di ossigeno, si può supporre che i fenomeni intervengono in due modi: o che il corpo giunga immediatamente al massimo di ossigenazione, o che vi giunga successivamente, prendendo da prima un atomo per formare un primo composto, poi il secondo, poi il terzo, ec. In entrambi i casi il composto definitivo essendo identico a sè stesso, ne segue che la somma delle quantità di calorico svolte nel secondo modo debba essere eguale alla quantità di calorico svolto nel primo, almeno se si tenga conto di tutte le circostanze, e specialmente degli stati diversi ne' quali si trovano gli elementi o i composti successivi. Ma qui si presenta una quistione importante, si cerca cioè di sapere se la unione de'diversi atomi sia accompagnata dallo stesso svolgimento di calorico. Sventuratamente ci ha poche combinazioni sulle quali si possano fare ricerche di questo genere; ma il carbonio è in questo numero, e notabili sono i risultamenti ch'esso presenta: e per fermo un litro di vapore combinandosi per formare acido carbonico dà 3929 unità di calorico; 1 litro di vapore di carbonio preso allo stato di ossido di carbonio, in un litro di quest'ossido dà anche per la sua combustione un litro di acido carbonico; ma svolge 3130 unità di calorico, la differenza 3929—3130 è di 799; un litro dunque di vapore di carbonio combinandosi con un mezzo litro di ossigeno per formare un litro di ossido di carbonio ha dovuto svolgere solo 799 unità di calorico. Vale a dire che l'unione del primo atomo ha dato 799 unità e quella del secondo 3130, quasi il quadruplo. E per contro, quando un litro di acido carbonico ritorna allo stato di ossido di carbonio combinandosi con un litro di vapore di carbonio per formare due litri di ossido, esso assorbe 2331 unità di calorico e si perdono $\frac{4}{5}$ del combustibile. Perocchè si hanno per risultamento 2 litri di ossido di carbonio, ciascuno de' quali ha dovuto svolgere 799 unità ossia una somma di 1598, nell'atto che sarebbonsi avuti due litri di acido carbonico, i quali avrebbero dato 7858; perdita 6260; purchè non si riproduca questo calorico facendo bruciare l'ossido di carbonio. Ma non si ha alcun dato per dedurne le differenze di temperatura che si può avere in due fuochi, con lo stesso consumo di aria, generandosi in uno acido carbonico, nell'altro ossido di carbonio.

505 *bis.* *Risultamenti di Favre e Silbermann.* — Paragonando i risultamenti di Dulong sulla combustione dell'idrogeno a quelli che eransi avuti prima da Lavoisier e de Laplace e da Despretz, si resta maravigliato per la enorme differenza che presentano. Despretz trova 20624, Lavoisier e de Laplace 23400, e Dulong 34601. Era perciò a desiderare che ogni dubbio fosse dileguato; e però Favre e Silbermann furono indotti a riprendere questo argomento procedendo con tutte le cautele possibili tanto per la purezza de'gas, quanto per la giusta determinazione delle temperature. Da sei sperienze fatte, ciascuna sopra un prodotto di tre grammi d'acqua, essi hanno avuto per risultamento medio 34462; numero quasi identico con quello di Dulong; onde non è a dubitare che le antecedenti determinazioni non siano in difetto di circa la metà del loro valore.

Dopo avere ottenuto questo primo risultamento, i sig. Favre e Silbermann mercè ingegnosi processi ed un zelo infaticabile, hanno intrapresa la soluzione generale dell'importante problema sulle quantità di calorico svolto nelle combustioni diverse; la soluzione di essi datane può considerarsi siccome completa, tanta è stata la loro diligenza nell'estenderlo ai corpi i più differenti e i più difficili ad ottenersi chimicamente allo stato puro. Ecco la tavola de' risultamenti ottenuti :

NOMI DELLE MATERIE	FORMOLE	QUANTITÀ DI CALORI dato da 1 gr. di combustibile
Idrogeno a 15°		34 462,0
Carbone, da C a CO^2		8 080,4
Idem di zuccaro, da C a CO^2.		8 039,8
Idem delle storte a gas		8 047,3
Grafite naturale, n°. 1		7 811,5
Idem degli alti fornelli, n°. 1.		7 785,3
Idem naturale, n°. 2		7 781,5
Diamante		7 770,1
Grafite degli alti fornelli, n°. 2		7 737,1
Diamante riscaldato		7 878,7
Ossido di carbonio a CO^2		2 402,7
Gas delle paludi	C^2H^4	13 063,0
Gas olefaciente	C^4H^4	11 857,8
Paramilene	$C^{10}H^{10}$	11 491,0
Amilene	$C^{20}H^{20}$	11 303,5
Idem.	$C^{22}H^{22}$	11 266,0
Cetene.	$C^{32}H^{32}$	11 078,5
Metamilene	$C^{40}H^{40}$	10 928,5
Eter solforico	$HO^2+C^8H^8$	9 027,2
Idem valerico	$HO^2+C^{20}H^{20}$	10 188,»
Spirito di legno	$HO^2+C^2H^2$	5 301,5
Alcool di vino	$HO^2+C^4H^4$	7 184,0
Idem valerico	$HO^2+C^{10}H^{10}$	8 958,6
Idem etalico.	$HO^2+C^{32}H^{32}$	10 629,2
Acetonio	$C^6H^6+O^2$	7 305,0
Aldeide etalico	$C^{32}H^{32}O^2$	10 342,2
Idem stearico	$C^{38}H^{38}O^2$	10 496,0
Formiato di metilene	$C^4H^4O^4$	4 197,4
Acetato di metilene	$C^6H^6O^4$	5 342,0
Formiato d'alcool	$C^6H^6O^4$	5 279,0
Etere acetico	$C^8H^8O^4$	6 292,7
Butirato di metilene	$C^{10}H^{10}O^4$	6 798,5
Etere butirico	$C^{12}H^{12}O^4$	7 090,9
Valeriato di metilene	$C^{14}H^{14}O^4$	7 375,6
Idem d'alcool	$C^{14}H^{14}O^4$	7 834,9
Acetato d'alcool valerico	$C^{20}H^{20}O^4$	7 971,2
Etere valeriamilico	$C^{20}H^{20}O^4$	8 543,6
Acido formico.	$O^4+C^2H^2$	2 000,0
Idem acetico	$O^4+C^4H^4$	3 505,2
Idem butirico	$O^4+C^8H^8$	5 623
Idem valerico	$O^4+C^{10}H^{10}$	6 439
Idem etalico.	$O^4+C^{32}H^{32}$	9 420
Idem stearico	$O^4+C^{38}H^{36}$	9 820

NOMI DELLE MATERIE	FORMOLE	QUANTITA' DI CALORE dato da 1gr. di combustibile
Acido frenico	$C^{12}H^6O^2$	7 842,3
Terebinto	$C^{20}H^{16}$	10 663
Essenza di tremeutina	$C^{20}H^{16}$	10 852
Idem di cedro	$C^{20}H^{16}$	10 959,0
Solfo nativo o fuso	. . . . .	2 221,1
Idem subito cristallizzato . . .	. . . . .	2 258,4
Solfuro di carbonio	. . . . .	3 400,5
Carbone bruciante nel perossido di azoto a 10°	. . . . .	11 157,9
Scomposizione del perossido d'azoto.	. . . . .	11 090,5
Idem dell' acqua ossigenata, 1gr. ossig	. . . . .	1 303,0
Scomposiziono dell' ossido d' argento assorbe . . .		— 22,1
Spato d' Islanda in CO^2, e C ad O assorbe. . . .		— 308,1
Arragonite { 1° si combina, dà		+ 38,3
Arragonite { 2° si scompone, assorbe		— 308,1
Idem scomposto dopo la combinazione assorbe. . .		— 269,8

Disposizione dell'apparecchio de' signori Favre e Silbermann. — Cotesto apparecchio è rappresentato nelle figure 9, 10, 11 e 12, tavola 38. La figura 12 raffigura l'insieme e la disposizione generale; la figura 10 il calorimetro; la figura 11 il coverchio del calorimetro; la figura 9 la canna di combustione e tutti gli accessorii che vi si connettono.

Camera di combustione. Si compone d' un vaso di rame sottilissimo *a*, il quale ha tre aperture *b*, *c*, *d*: la prima che serve, in generale, per l'arrivo dell' ossigeno; la seconda per l' introduzione del combustibile, e l'ultima per l'uscita de'prodotti della combustione. Questi, nell' uscire dalla camera, penetrano nella serpentina *s* pel ramo *t*, ne percorrono tutte le spire, si elevano pel ramo *t'*, e da quivi per via d' un lungo tubo vanno nel tubo contenente potassa, figura 12, che assorbe l' acido carbonico, nel tubo *p'* contenente pomice che assorbe l' acqua, nel tubo *p''* contenente pomice e potassa, che fa come da *testimone* affine d' impedire al bisogno il ritorno dell' acido carbonico, e da quest'ultimo finalmente in un tubo di vetro riscaldato, contenente ossido di rame, per far passare allo stato di acido carbonico le porzioni d' ossido di carbonio che possan formarsi, e che si formano in fatto, nella maggior parte delle combustioni. Quest' acido carbonico viene raccolto in un tubo di potassa, che si pesa diligentemente come i precedenti, a fine di fare un'analisi completa de' prodotti gassosi ai quali la combustione dà luogo.

I corpi combustibili s' introducono per l'apertura *c* che è una maniera di canna alquanto conica, la quale ha una ghiera tornita e grossa *f* che porta due passi di vite, l' uno superiore il quale ritiene il turacciolo *f'* che chiude ermeticamente, l'altro inferiore che ritiene le ghiere *f''*, formanti i sostegni ai diversi combustibili; a queste ghiere, in fatto sono successivamente attaccati, 1° il cartoccio *g* di foglia di platino, nel quale pongonsi i carboni di varie specie; 2° le piccole lampade *h* ove si pongono i diversi combustibili, etere, alcool, olio essenziale, ec.; 3° la capsula di rame ove s'adattano la maggior parte de'corpi

solidi; 4° finalmente la capsula di porcellana in cui si pone il zolfo. La piccola lampada e le capsule sono attaccate alla ghiera mercè due fili di platino rappresentati nella figura.

Al turacciolo f è annesso un tubo dritto che serve da finestra per guardare nell' interno; e perciò esso nel basso è chiuso da una triplice lamina d'allume, di quarzo e di vetro, e nell'alto porta uno specchio rappresentato da m in profilo, e da m' in prospetto; altro tubo alquanto obbliquo è annesso allo stesso turacciolo, e che è destinato per l'introduzione dell'idrogeno o a quella dell'ossigeno, secondo la specie di combustione che vuolsi produrre. Se, per esempio, si vuol bruciare del carbone, si serra il tubo che arriva all'apertura b; il cartoccio g, ripieno di carbone in granelli, s'avvita per mezzo della sua ghiera f'' sul turacciolo d; lo si accende, e, dopo rimesso il tutto a suo luogo, si soffia l'ossigeno pel tubo l; l'ossigeno attraversa il cartone del cartoccio, attiva e mantiene la combustione, e quindi i prodotti gassosi scappano per l'apertura d, come innanzi si è detto. Al contrario quando debbasi bruciare un liquido, s'avvita la piccola lampada al turacciolo c mercè la sua ghiera f'', ed allora il tubo l è chiuso col turacciolo o, e si soffia l'ossigeno pel tubo che arriva all'apertura b.

Calorimetro. Si compone d'un vase di ferro inargentato (*plaqué*) dilicatissimo, fig. 10, contenente circa due chilogrammi d'acqua; in mezzo a questo bagno di liquido trovasi quasi sospesa la camera di combustione per mezzo di tre grossi fili di rame al quali essa è saldata; e, che, innalzandosi al di sopra del livello dell'acqua, vanno ad attaccarsi al coverchio mediante un intaccatura in ciascuno di essi praticata, come vedesi in q, q', q'', fig. 11. Un buon termometro è immerso nel bagno, ed il suo gambo esce in fuori per l'apertura r''. Le altre due aperture r ed r' servono a dar passaggio alle due aste dell'agitatore.

Il vase di ferro inargentato (*plaqué*) è avviluppato da pelle di cigno, come vedesi nella fig. 10, e questa pelle anch'essa è avviluppata da un vase di rame a doppio invoglio, e contenente acqua. Tutti cotesti involucri sembranmi insufficienti; ed, a mio credere, otterrebbesi maggiore esattezza, ponendo semplicemente il vase di ferro inargentato al coperto delle correnti d'aria esterna. Poichè non può impedirsi dal fargli perder calore, conviene soltanto disporlo in modo che le perdite si facciano con una grande regolarità, affinchè la corrente si faccia con più certezza.

Insieme dell'apparecchio. Volgendosi alla fig. 12 rappresentante l'insieme dell'apparecchio, vedesi il calorimetro in a montato sopra un solido piede b; per due vasi di Mariotte c e c', e con uno scolo uniforme a passa l'acqua ne' serbatoi d, d' ripieni entrambi d'ossigeno per la combustione ordinaria, oppure uno d'ossigeno e l'altro d'idrogeno, quando si tratta di bruciar l'idrogeno. Seguiremo soltanto il corso del gas che viene dal riserbatojo al gassometro d; esso esce pel tubo e, si lava nel vase f, da quivi passa nel tubo orizzontale g di 3 in 4 metri di lunghezza, contenente pomice ed acido solforico; uscendo da cotesti tubi, penetra finalmente nella camera da combustione, e la quantità che vi penetra è regolata da una chiavetta.

È importante menare innanzi l'operazione con prudenza; essa dura 4 o 5 *primi*, quando trattasi di 1^{gr} o 1^{gr} $\frac{1}{2}$ di combustibile; in questo frattempo si fa muovere l'agitatore, e, con la lente del catetometro k, si segnano accuratamente i movimenti del termometro, finchè esso sia giunto al suo massimo, notando il tempo corrispondente a ciascuna divisione. Con questi dati e gli altri elementi della sperienza, si calcola facilmente, coi metodi da noi indicati, le quantità di calore generato.

506. *Calorico di combinazione per via umida*. — Hess, Andrews e Graham hanno ultimamente fatto delle ricerche molto estese sulle quantità di calorico svolto in alcune combinazioni per via umida. (*Ann. de Phys. et de Chim.*; per Hess 1840, t. 73 e 1842, t. 4; per Andrews, 1842, t. 4; per Graham 1843, t. 8.) Riferiremo da prima i risultamenti di Graham.

I. *Calorico svolto dall' idrarsi dell' acido solforico.*

Composizione dell'acido adoperato	Elevazione di temperatura	Differenza
H^2O,SO^3	3°, 85	
Id. + H^2O	2°, 39	1°, 47
Id. + $2H^2O$	1°, 89	0°, 53
Id. + $3H^2O$	1°, 30	0°, 56
Id. + $4H^2O$	1°, 06	0°, 24
Id. + $5H^2O$	0°, 87	0°, 19
Id. + $7H^2O$	0°, 68	0°, 19

Il peso di acido adoprato è stato sempre $\frac{1}{20}$ di equivalente. In tutte le sperienze l'equivalente del primo acido H^2O, SO^3 è 501,16 + 112,5 = 613,66; prendendo il grammo per unità si ha 613gr,66, il cui ventesimo è 30gr,58, il ventesimo di equivalente del secondo è 63gr, 3; del terzo 41gr ,93; del 4º 47,55; del 5º 53gr ,18; del 6º 58gr ,8 e del 7º 70gr ,05; il che corrisponde sempre allo stesso peso dell'acido anidro; cioè un ventesimo di 501,16 ossia 25gr,06. L'acido è stato sempre versato in 1000 grammi di acqua, contenuta in un crogiuolo di platino di 1202 grammi: l'agitazione facevasi con un tubo vuoto di palladio di grammi 207, 6 di peso, ed il termometro che indicava le temperature era piccolo e sensibilissimo. Graham veramente ha fatto uso del grano in vece del grammo che ho qui indicato, ma cotesto cangiamento di unità non deve arrecare alcuna alterazione ne' risultamenti, se non che operando sopra masse più grandi si avrebbe esattezza maggiore. Il crogiuolo era avvolto in cotone affinchè si potesse trascurare la piccola perdita di calorico che avvenir potea nel fare il mescuglio la cui durata non oltrepassava 1' o 2'. Cotesta correzione intanto non sarebbe indifferente sopra i risultamenti, perocchè vi si tien conto del 100mo di grado.

Se da queste sperienze si volesse dedurre l'elevazione di temperatura che un equivalente di acido produrrebbe in un equivalente di acqua, sarebbe mestieri prendere il peso, p, dell' apparecchio, comprendendovi l'acqua con tutte le altre parti del medesimo; estimate in acqua, dividerlo per 112,5 per avere il numero degli equivalenti riscaldati, moltiplicarlo per 20, perocchè si è operato con un ventesimo di equivalente, e da ultimo moltiplicare quest' ultimo prodotto successivamente per le varie elevazioni di temperatura osservate; perciocchè ne' mescugli dei quali è parola, l'acido era talmente diluito dopo ciascuna operazione, che aggiungendovi dell'acqua non si poteva ottenerne una sensibile elevazione di temperatura.

Si potrebbe anche dedurne i numeri decrescenti di unità di calorico ch'è capace di svolgere 1 grammo di acido anidro, quando si mescola ad una conosciuta massa di acqua, dopo di averlo prima combinato con un atomo di acqua, con due, con tre, ec.: ben inteso che la massa di acqua dovrebbe essere tanto grande da fare che l'acido svulgesse tutto il calorico di cui è capace.

Ma i dati dell'esperienza non ancora mi sembrano tanto giusti da rendere coteste assolute determinazioni bastantemente prossime al vero.

Pure esse fin da ora ci danno il diritto di fare degl' importanti paragoni. Così la prima differenza 1º, 47, compresa nella 3a colonna, fa vedere che prendendo un nuovo atomo di acqua, l'acido H^2O, SO^3 la cui densità è 1,848, produce elevazione di temperatura più piccola di 1º, 47; il calorico corrispondente dunque è quello ch' è stato svolto dalla combinazione del 3º atomo è rappresentato da 0,53; quello del 4º da 0º, 67, ec; vale a dire il primo atomo di acqua che si combina col protoidrato H^2O, SO^3 svolge tanto calorico per quanto ne svolgono i 4 atomi seguenti; che il 2º ed il 3º ne svolgono quantità eguali: che il 4º ne svolge la metà del 3º, ec.

Si era creduto che le quantità di calorico svolte dagli atomi successivi avessero tra loro delle ragioni semplici; i numeri trovati da Graham non sembrano favorevoli a questa opinione. Graham intanto ha osservato un fenomeno di cui importerebbe conoscere l'efficacia; egli ha trovato che un acido allungandosi dà molto meno calorico quando si versa in una volta in mille grammi d'acqua, che quando si lascia riposare per alquanti giorni. Converrebbe sapere se il mescuglio che si fa ne' 1000 grammi d'acqua non sia esso stesso in questo caso, e se quando si osserva il termometro, non debba esercitarsi un' azione lenta in cui il calorico operi qualche cosa ed in modi diversi versando acidi diversamente concentrati.

II. Calorico svolto sciogliendo nell' acqua quantità equivalenti di sali cristallizzati.

Solfato di magnesia . . .	$7H^2O$	0º, 92
Solfato di zinco.		1 , 00
Prosolfato di ferro		1 , 06
Solfato di rame	$5H^2O$	0 , 67
Solfato di manganese		0 , 12
Solfato di manganese e di potassa	$6H^2O$	2 , 30
Solfato di magnesia e di ammoniaca		2 , 24
Solfato di manganese e di ammoniaca		2 , 24
Solfato di ferro e di ammoniaca		2 , 27
Solfato di ferro e di potassa . .		2 , 47
Solfato di zinco e di potassa . .		2 , 60
Solfato di rame e di ammoniaca . .		2 , 63
Solfato di zinco e di ammoniaca . .		2 , 73
Solfato di rame e di potassa . .		3 , 04

Solfato di soda	$10H^2O$ 4 , 50
Solfato di potassa	anidro 1 , 51
Solfato di ammoniaca	0 , 51
Cromato di potassa	1 , 18
Bicromato di potassa	3 , 96
Nitrato di potassa	3 , 96
Tercromato di potassa	2 , 28
Bifosfato di potassa	$2H^2O$ 2 , 24
Biarseniato di potassa	2 , 26
Solfato di acqua e di potassa	anidro 1 , 95

III. Calorico svolto nel compiuto idrarsi de' sali anidri.

Solfato di magnesia	5°, 25
Solfato di zinco	5 , 17
Solfato di rame	4 , 40
Solfato di manganese	3 , 34
Solfato di magnesia e di potassa	3 , 90
Solfato di zinco e di potassa	4 , 30
Solfato di rame e di potassa	5 , 01

IV. Calorico svolto dalla combinazione del primo atomo di acqua ne' solfati magnesiaci.

Solfato di acqua	1°, 47
Solfato di rame	1 , 47
Solfato di manganese	1 , 43
Solfato di magnesia	1 , 30
Solfato di zinco	1 , 71

I numeri contenuti nelle tre antecedenti tabelle risultano da esperienze fatte nelle condizioni indicate allorchè si è discorso della prima tabella. Si è sempre adoperato un ventesimo di equivalente di ciascun sale, per mescolarlo nello stesso apparecchio con la stessa massa di acqua di 1000 grammi.

Graham dopo di avere ottenuto i numeri della seconda tabella, ha preparato de' sali anidri, sopra i quali ha operato, e alle elevazioni di temperatura che essi hanno prodotte, vi ha aggiunto un numero eguale al freddo prodotto dalla dissoluzione dello stesso sale cristallizzato; la somma rappresenta il calorico d' idrazione espresso nella tabella terza.

In quanto a' numeri della quarta tabella, noi, parlando dell' acido solforico, abbiam veduto come il primo è stato dato; gli altri risultano da esperienze analoghe, Graham cioè dopo di avere operato sopra i sali anidri, ha preparato gli stessi sali con un atomo di acqua, per assoggettarli alla stessa prova; sottraendo allora la seconda elevazione di temperatura dalla prima, egli ha ottenuta la elevazione di temperatura corrispondente al calorico svolto dal primo atomo di acqua.

Questi studî relativi alla idrazione ed alle dissoluzioni sono in certa guisa il punto di partenza necessario per giungere ad una disamina calorifica compiuta delle combinazioni per via umida; ma sarebbe molto a desiderare che nello stesso tempo vi si unissero gli studî delle variazioni di densità che ricevono gli elementi.

Andrews ha diretto le sue ricerche verso un obbietto più generale e non meno importante, egli ha preso in disamina specialmente le mutue azioni degli acidi e delle basi, e le sue sperienze tendono a fermare le seguenti leggi che sono degne di tutta l' attenzione de' fisici e dei chimici.

1° *Legge degli acidi.* — Un equivalente di diversi acidi, combinato con la stessa base, svolge presso a poco la stessa quantità di calorico.

2° *Legge delle basi.* — Un equivalente di diverse basi combinato con lo stesso acido genera diverse quantità di calorico.

3° *Legge de' sali acidi.* — Quando un sale neutro si converte in un sale acido, combinandosi con uno o più equivalenti di acido, non si osserva alcun cangiamento di temperatura.

4° *Legge de' sali basici.* — Quando un sale neutro si converte in sale basico la combinazione è accompagnata da svolgimento di calorico.

Andrews ha fatte le sue sperienze sciogliendo da prima gli acidi e le basi solubili in convenienti quantità di acqua; ha fatto giungere le soluzioni alla temperatura dell' ambiente ed ed indi le ha mescolate per osservare lo svolgimento di calorico. Le basi insolubili erano semplicemente sospese nell' acqua, e però il calorico osservato era minore di quello che avrebbesi avuto se queste basi fossero state sciolte.

Per la seconda legge le basi sonosi presentate nell' ordine seguente:

Magnesia	4 , 53 +
Calce	3 , 94 +
Barite	3 , 75
Potassa	3 , 62
Soda	3 , 60
Ammoniaca	3 , 07
Ossido di zinco	2 , 73 +
Ossido di piombo	2 , 21 +
Ossido di argento	1 , 79 +

Il segno + che accompagna le basi insolubili mostra che esse potrebber prendere un altro posto, se si conoscesse il calorico ch'esse assorbir debbono nel momento in cui si sciolgono sotto l' azione dell' acido.

Andrews ha intanto trovate alcune notabili eccezioni alla legge antecedente. Così il perossido di mercurio svolge la stessa quantità di calorico con l'acido azotico, e con l'acido acetico, ma con l'acido cloroidrico, cianoidrico, e iodoidrico svolge tre, cinque, nove volte più di calorico. Parimente l'acido cianoidrico segue la legge comune quando opera sull'ossido di mercurio, e se ne allontana quando opera sulla potassa, la soda, la barite e l'ammoniaca; sopra i tre primi dà $\frac{1}{5}$ del valore normale e sull'ammoniaca solo $\frac{1}{14}$.

Gli acidi fosforico ed arsenico fanno anche un poco eccezione alla terza legge, perocchè danno un debole grado di calore quando intervengono per far passare i loro sali dallo stato neutro allo stato acido.

Dalle due prime leggi di Andrews segue che due dissoluzioni di sali neutri, nella loro reazione per formare nuovi sali non debbono dare alcuno svolgimento di calorico; questo appunto era stato detto e renduto aperto da Hess; ma egli avea dato ragione di tali risultamenti mercè altri principî.

507. *Del calore animale.* — I corpi organizzati sembrano eccettuarsi dalle leggi generali del calorico, perocchè essi non trovansi quasi mai alla temperatura de' mezzi ne' quali vivono. Il corpo umano non ha la temperatura dell'aria che lo circonda: gli animali delle regioni polari sono più caldi de' ghiacci sopra i quali riposano; quelli delle regioni equatoriali sono generalmente più freddi dell'aria infocata che respirano; la temperatura degli uccelli è diversa da quella dell'atmosfera, e quella de' pesci diversa da quella dell'acqua in cui sono immersi. Ne' corpi organizzati dunque v' ha un calore proprio, o piuttosto un modo di generare, secondo il bisogno, il caldo o il freddo; imperciocchè la materia ponderabile onde sono composti dee come tale esser soggetta alle leggi generali dell'equilibrio di temperatura. La quistione del calorico dei corpi viventi riducesi a tre punti che ci faremo successivamente a mettere in disamina: 1° qual è la loro temperatura? 2° che quantità di calorico possono produrre in un dato tempo? 3° per quali mezzi questo calorico può essere prodotto?

Della temperatura del corpo umano. — La temperatura interna pare essere la stessa nei varî organi, e pare che sia la stessa di quella che si ha ponendo un piccolo termometro sotto la lingua, tenendo la bocca perfettamente chiusa fino a che il termometro non si arresti. Cotesta temperatura è di 37°; lo stato di sanità o di malattia, l'età ed il clima non vi possono arrecare grandi variazioni.

Breschet e Becquerel han fatto ultimamente un gran numero d'importantissime sperienze sul proposito con apparecchi termo-elettrici molto sensibili. Giovanni Davy ha fatto sull'oggetto delle piacevoli osservazioni ne' suoi viaggi, e particolarmente andando da' porti dell'Inghilterra all'isola di Ceylan. Prendendo la temperatura di parecchi uomini della ciurma a diverse latitudini, trovò che la medesima cresce arrivando a' luoghi caldi; sebbene quest'aumento sia debole a segno che appena giunge ad 1° circa. G. Davy ha preso in pari tempo delle temperature sopra i naturali di Ceylan, sopra gli Ottentotti, sopra i negri del Madagascar e del Mozambico, sugli Albinos, i Malesi, i Cipayes, sopra i sacerdoti di Buda i quali mangiano solo legumi, e sopra i Vedas i quali mangiano solo carni. Tutte queste temperature sono tra loro pochissimo diverse: la più bassa appartiene a due Ottentotti del Capo di Buonasperanza, ed è di 35°,8; la più alta è di 38,9, ed appartiene a due fanciulli europei nati a Colombo, l'uno di 8 e l'altro di 12 anni.

Giovanni Davy ha del pari osservata la temperatura di molti animali, siccome trovasi notato nella tavola seguente.

Tavola delle temperature di vari animali osservate dal signor Giovanni Davy.

NOMI degli animali	TEMPERATURE in gradi centigradi	TEMPERATURA dell' ambiente	LUOGHI delle osservazioni
	MAMMIFERI		
Scimia	+39°,7	+30°	Colombo
Lucertola	26 ,7	27	*idem*
Pipistrello	37 ,8	28	*idem*
idem	38 ,3	28	*idem*
V. Vampiro	37 ,8	21	*idem*
Scojattolo	38 ,8	27	*idem*
Topo comune	38 ,8	26,5	*idem*
Lepre comune	37 ,8	26,5	*idem*
Icneumone	39 ,4	27	*idem*
Tigre	37 ,2	26,5	*idem*
Cane	39 ,0	»	Kandy
idem	39 ,6	»	*idem*
Jackal	38 ,3	29	Colombo
Gallo comune	38 ,3	15	Londra
idem	38 ,9	26	Kandy
Pantera	38 ,9	27	Colombo
Cavallo (razza araba)	37 ,5	26	Kandy
Montone	39 ,3 a 40,0	In estate	Scozia
idem	39 ,5 a 40	19	Capo di buona Speranza
idem	40 ,0 a 40,5	26	Colombo
Becco	39,5	26	*idem*
Capra	40	26	*idem*
Bue	38 ,9	In estate	Edimburgo
idem	38 ,9	26	Kandy
Alce femmina	39 ,4	25,6	Colombo
Porco	40 ,5	25,6	Nel Doombera
Elefante	37 ,5	26,7	Colombo
Porco marino	37 ,8	26,7	In mare lat. 8° 23' N.
	UCCELLI		
Nibbio	37°,2	25,3	Colombo
Gufo	40,0	15,6	Londra
Pappagallo	41,1	24	Kandy
Gracchia	42,1	31,5	Ceylan
Tordo comune	42,8	15,5	Londra
Passero comune	42,1	26,6	Kandy
Piccione comune	42,1	15,5	Londra

NOMI degli animali	TEMPERATURE in gradi centigradi	TEMPERATURA dell' ambiente	LUOGHI delle osservazioni
idem	43,0	25,5	Colombo
idem	43,3	25,5	*idem*
Gallina di Jungles	42,0	25,5	Ceylan
idem	42,5	25,5	*idem*
Gallina comune	42,5	4,5	Edimburgo
idem	43,3	25,5	Colombo
idem	42,2	25,5	*idem*
Gallo vecchio	43,3	25,5	*idem*
Gallo adulto	43,9	25,5	*idem*
Gallina di Guinea	43,9	25,5	Vicino Colombo
Gallo d' India	42,7	25,5	*idem*
Procellaria	40,3	26	In mare lat. 2° 3′ N.
P. Capensis	40,8	15	*idem* latit. 34° 5.
Oca comune	41,7	25,5	Vicino Colombo
Anitra comune	43,9	25,5	*idem*
ANFIBI			
Testuggine	28°,9	26	In mare lat. 2° 27′ N.
idem	29,4	32	Colombo
Testuggine geom.	16,9	16	Capo di Buona Sper.
idem	30,5	26,6	Colombo
Rana Ventricosa	25,0	26,7	Kandy
Iguana	29,0	27,8	Colombo
Serpente	31,4	27,5	*idem*
idem	29,2	28,1	*idem*
idem	32,2	28,3	*idem*
PESCI			
Pesce cane	25,0	23,7	In mare lat. 8° 23′ N.
Bonite, al cuore	27,8	27,2	*idem* lat. 1° 14′ S.
idem ne' muscoli interni	37,2	27,2	*idem*
Trota comune	14,4	13,3	Presso Edimburgo
Pesce volante	25,5	25,3	In mare lat. 6° 57′ N.
MOLLUSCHI			
Ostriaca comune	27,8	27,8	Presso Colombo
Lumaca	24,6	«	Kandy

NOMI degli animali	TEMPERATURE in gradi centigradi	TEMPERATURA dell' ambiente	LUOGHI delle osservazioni
	CROSTACEI		
Gambero	26,1	26,7	Colombo
Granchio di mare	22,1	22,2	Presso Kandy
	INSETTI		
Scarafaggio	25,0	24,3	Kandy
Lucciolato	23,3	22,8	*idem*
Blatta orientale	23,9	28,3	*idem*
idem	23,9	23,3	*idem*
Grillo	25,5	16,7	Capo di Buona di Sper.
Vespa	24,4	23,9	Kandy
Scorpione	25,3	26,1	*idem*
Julus	25,8	26,6	*idem*

Osservazioni. Per gli *anfibi* il numero che trovasi nella colonna della temperatura dell'ambiente esprime la temperatura dell'aria, pei pesci, per l'ostrica comune e per lo granchio di mare, l'anzidetto numero esprime la temperatura dell' acqua marina.

Si vede che gli uccelli fra tutti gli animali godono della più alta temperatura; i mammiferi occupano il secondo luogo; appresso vengono gli anfibi, i pesci ed alcuni insetti; e da ultimo i molluschi, i crostacei, i quali son quasi alla temperatura dell'ambiente, del pari che i vermi finora osservati.

La bonite offre un esempio notevole: trovandosi il mare a 27°,2, la temperatura della bonite era di 27°,8 al cuore, e di 37,2 ne' muscoli interni; il cuore sta molto vicino alla superficie.

Becquerel e Brechet hanno fatto eziandio molte sperienze sulla temperatura de' corpi viventi allo stato sano o di malattia. Il loro metodo consiste nel prendere due lunghi aghi simili a quelli de' quali si fa uso nell'ago-puntura, con sola differenza ch' essi li fanno di due metalli diversi saldati solo verso la punta e nel resto separati da una membrana isolante, indi facendo comunicare mercè un primo filo di rame il rame di uno de' due aghi, e con un altro somigliante l'acciaio de' due altri, ponendo il galvanometro nell'uno o nell'altro de' due circuiti; è chiaro che se tra le due punte o tra le due saldature vi sia un diverso grado di calore, questa differenza sarà indicata dal galvanometro, e dopo mercè una facile graduazione potrà essere valutata in gradi termometrici. Per avere la temperatura assoluta e non più delle semplici differenze, basterà immergere uno degli aghi in un bagno il quale abbia una temperatura costante e perfettamente determinata. Con questo ingegnoso metodo Becquerel e Brechet hanno conosciuto;

1° Che nel cane il sangue arterioso è più caldo del sangue venoso per circa 1°;

2° Che non v'ha differenza sensibile di temperatura tra gli abitanti della valle del Rodano e quelli del San Bernardo, egualmente che tra i cani di queste due regioni;

3° Che nello stato di febbre la temperatura generale può elevarsi di 1° a 2°;

4° Che in molti casi d'infiammazione locale, cronica o accidentale, la temperatura dell' organo infiammato può essere più elevata della temperatura generale; e tal differenza di rado arriva ad 1° o 2°.

507. bis. *Quantità di calorico prodotto da varj animali.* — Coteste quantità di calorico possono essere determinate col calorimetro, ed i signori Lavoisier e Laplace non mancarono di applicare il loro strumento a questo genere di ricerche. Dulong ha adoperato un altro metodo, il quale è certamente il più

preciso ed il più ingegnoso che immaginar si potesse; il suo bel lavoro su questo argomento non è ancora pubblicato, e però possiamo appena dare qui un'idea generale del suo apparecchio e de' risultamenti cui egli è pervenuto. L'animale su cui sperimentasi è chiuso comodamente in una sottil cassa di rame, la quale è tuffata in una gran vasca d'acqua; l'aria occorrente per la respirazione dell'animale è somministrata da un gassometro; i prodotti della respirazione vanno ad uscir fuori dopo essersi ridotti alla temperatura dell'acqua; essi sono raccolti ed analizzati. L'esperienza dura circa due ore, e dall'elevazione della temperatura dell'acqua, fatte le debite correzioni, si conosce quale è la quantità di calorico somministrato dall'animale. Dulong ha con molta precisione determinato codeste quantità di calorico sopra animali di varie specie; giovani o adulti, carnivori o frugivori. Cotesti animali non avendo a soffrire tormento o fatica, s'intende che se essi perdon continuamente calorico, è mestieri che continuamente ne riproducano eguali quantità, e noi vedremo in qual modo.

Principali cagioni del calore animale.—L'aria che ha servita alla respirazione è alterata come l'aria che ha servita alla combustione. L'ossigeno s'è in parte combinato col carbonio per formare l'acido carbonico; ne' polmoni dunque è accaduta una vera combustione. Dopo che Lavoisier ebbe fatta questa scoperta, il calore animale non fu un mistero, perocchè nel fenomeno della respirazione ne fu trovata la sorgente. È mestieri intanto misurare questa sorgente per vedere se da se sola è sufficiente a compensare perfettamente le perdite; e questo appunto ha fatto Dulong. Dopo di aver determinato, nel modo del quale di sopra è detto, la quantità di calorico perduto dall'animale in un dato tempo, egli ha cercata la quantità di calorico prodotta dalla respirazione. L'aria somministrata all'animale si misura col gassometro; le alterazioni che riceve son conosciute per mezzo dell'analisi. Coteste alterazioni son le seguenti: 1° essa esce più umida; 2° una parte dell'ossigeno trovasi sostituita dall'acido carbonico; 3° un'altra parte di ossigeno sparisce; 4° l'azoto soffre appena levissime alterazioni. Supponendo che l'ossigeno che ha formato l'acido carbonico siasi realmente combinato col carbonio durante la inspirazione o dopo entrato nel polmone, si può calcolare la quantità di calorico che ne risulta. Supponendo poi che la quantità di ossigeno sparita siasi combinata con l'idrogeno per formare l'acqua, si può egualmente calcolare la quantità di calorico che ne risulta. La somma di queste due quantità di calorico è senza dubbio tutto il calorico che la respirazione può produrre; ma per questo è mestieri conoscere perfettamente le quantità di calorico svolte dalla combustione del carbonio e dell'idrogeno. Ora nel tempo in cui Dulong fece il suo lavoro, se il numero accettato per lo carbonio era bastantemente giusto, quello dell'idrogeno avea appena due terzi del suo vero valore; si credea cioè che un grammo d'idrogeno desse circa 23000 unità di calorico, nell'atto che esso ne dà veramente 34600. Laonde facendo il calcolo con questo dato falso si producevano 8 decimi del calore osservato; il che rimaneva una grande latitudine a' partegiani della *innervazione*, per sostenere che l'azione della volontà sul sistema nervoso svolge una considerabile quantità di calorico necessario all'uomo ed agli animali. Dulong credette piuttosto che il coefficiente della combustione fosse male determinato, e per questo ci è giovato certamente il lavoro del quale di sopra è detto. E per fermo, mercè il nuovo coefficiente 346000, facendo il calcolo, si trova che i fenomeni chimici della respirazione bastano a dar ragione di tutto il calorico che in ogni momento è prodotto o perduto dal corpo vivente. Despretz avea dal canto suo fatto delle importanti ricerche, pubblicate negli *Annali di Chimica* (t. XXVI); ma i suoi risultamenti debbono anche esser calcolati di nuovo, prendendo 34600 per lo calorico svolto da 1 grammo d'idrogeno.

507. ter. *Mescugli refrigeranti.* — Abbiamo additata la cagione generale del freddo che si genera ne' mescugli refrigeranti. Se mentre vi ha fusione in cotesti mescugli non vi fosse azione chimica generatrice di calorico, s'intende che basterebbe conoscere le capacità degli elementi e le quantità di calorico latente per potere anticipatamente calcolare il grado di freddo che da tali elementi si potrà avere: ma la quistione è tanto intrigata, che non possiamo ora metterla in disamina; ci restringeremo dunque a riferire i modi pratici per fare i più comunali mescugli refrigeranti.

Tavola de' mescugli refrigeranti.

Mescugli di neve e di sale o di acidi allungati o di alcali.		Abbassamento del termometro
Neve	1	da 0° a—17,77
Sal marino	1	
Idroclorato di calce	3	da 0° a—27,77
Neve	2	
Potassa	4	da 0° a—28,33
Neve	3	
Neve	1	da 6,66 a—51
Acido solforico allungato	1	
Neve o ghiaccio pesto.	2	da—17,77 a—20,55
Sal marino	1	
Neve ed acido nitrico allungato		da—17,77 a—43,33
Idroclorato di calce	2	da—17,77 a—54,44
Neve	1	
Neve o ghiaccio pesto.	1	da—20,55 a—27,77
Sal marino	5	
Idroclorato di ammoniaca e nitrato di potassa.	5	
Neve	2	da—23,33 a—48,88
Acido solforico allungato	1	
Acido nitrico allungato	1	
Neve o ghiaccio pesto.	12	da—27,77 a—31,66
Sal marino	5	
Nitrato di ammoniaca.	5	
Idroclorato di calce	3	da—40 a—58.33
Neve	1	
Acido solforico allungato	10	da—55,55 a —68,33
Neve.	8	

Osservazioni generali sulle sorgenti di calorico e di freddo.— Le sole sorgenti di calorico che conosciamo son quelle che risultano dalle azioni elettriche, molecolari e meccaniche. Sebbene alcuni fisiologi suppongano esservi forze organiche diverse dalle chimiche le quali siano capaci a svolgere calorico, pure finora gli effetti calorifici di queste forze non sono fermati da sperienze interamente decisive.

La incandescenza del carbono tra i poli della pila, la fusione e volatilizzazione de' metalli per effetto delle correnti o delle scariche di batterie ordinarie, assai chiaramente dimostrano la virtù calorifica dell' elettricità; si è già fatto qualche saggio mercè varie sperienze per determinare le quantità di calorico che correnti di conosciuta intensità possono manifestare, ma la quistione non è stata finora risoluta; è troppo poco il tempo da che si sa con sufficiente giustezza misurare le intensioni relative delle correnti.

Le azioni molecolari considerate come sorgenti di calorico non comprendono solo le azioni chimiche nella loro unione e nelle loro particolarità; ma abbracciano anche le forze espansive de' fluidi elastici onde viene la formazione de' vapori o l' aumento di volume dei

gas scemando la pressione, le azioni capillari e quelle ancora poco conosciute che si generano in tutti i toccamenti de' corpi sia qualunque il loro stato. A queste particolari azioni devesi senza dubbio ridurre quello svolgimento di calorico che ho mostrato accadere al contatto de' solidi e de' liquidi, e che talvolta giunge ad 8° o 10° quando un solido si bagna con un liquido che abbia perfettamente la stessa temperatura. A queste azioni forse devesi ridurre la *ignizione spontanea* scoperta da Doebereiner, la quale si appalesa quando la spugna di platino trovasi in contatto con un mescuglio d' idrogeno e di ossigeno, e che si appalesa eziandio, siccome han dimostrato Dulong e Thénard, sopra alcuni metalli presentati a certi mescugli gassosi in uno stato di conveniente divisione e sotto diverse condizioni: l' elevazione di temperatura non va sempre fino all'ignizione, ma basta che si avveri perchè ci sia permesso di supporre esservi una cagione simile a quella che opera al contatto del platino spongioso col mescuglio d' idrogeno e di ossigeno.

Le azioni meccaniche sono anche svariatissime e multiplici, se si considerano come sorgenti di calorico, ma i loro effetti sono sempre analoghi. Volendosi intanto estimare e paragonare le loro intensioni, è mestieri tener conto delle azioni chimiche che seguono talvolta le azioni meccaniche: così quando l'esca si accende nell' accendi-fuoco pneumatico, o quando si accende il legno per istrofinio, all' azione meccanica si deve solo attribuire l' elevazione di temperatura necessaria per promuovere l' azione chimica. Ne' fenomeni di questa natura potrebbe anche accadere che l' azione meccanica favorisse l'unione degli elementi in un modo diverso dell' elevazione di temperatura, o per la particolar disposizione che dà alle molecole, o per altre cagioni; è anche probabile che la detonazione delle polveri fulminanti per istropicciamento o per un urto sia un effetto composto, e che il calorico generato dall'azione meccanica non sia la sola forza che eccita l'esplosione.

Quando le azioni meccaniche operano sole, siccome accade per esempio con lo strofinio de' corpi non ossidabili, con la compressione dell' aria ne' vasi in cui non vi siano elementi combustibili, con la compressione de' metalli sotto l' azione del bilanciere, ec. egli è più facile determinare le quantità di calorico che si svolgono; ma tutte coteste quistioni non sono state ancora studiate con quella continuazione e aggiustatezza onde eran meritevoli.

LIBRO OTTAVO

METEOROLOGIA

CAPO PRIMO.

DEL CALORICO TERRESTRE.

508. Poichè il vario grado di caldo o di freddo opera più o meno direttamente sulla maggior parte dei fenomeni meteorici, così vi faremo da prima a mettere in disamina la quistione generale della distribuzione del calorico nel seno della terra e dell' atmosfera. Per risolvere compiutamente siffatta quistione, non ci vogliono solo osservazioni passaggiere fatte sopra alcuni punti del globo, ma sarebbe mestieri di osservazioni secolari eseguite con buoni strumenti in tutti i climi, e queste ne mancano. La maggior parte delle osservazioni antiche eran fatte a caso e con poca precisione; la meteorologia del calorico non va al di là del principio del nostro secolo, quando gl'immensi lavori di Humboldt e le profonde ricerche di Fourier e di Laplace potentemente valsero ad innalzarla e a darle la sua vera direzione; d'allora le buone osservazioni sedentarie sonosi moltiplicate, numerosi viaggi scientifici sonosi intrapresi sulle alte montagne, sopra tutti i mari e ne' paesi fin' allora sconosciuti alla scienza. I risultamenti che sonosi raccolti nel breve periodo degli ultimi quaranta anni formerà già un'ampia raccolta, e se sono ancora incompiuti per lo numero e per la durata che comprendono, pure può dirsi con verità che conducono a parecchie grandi quistioni sullo stato termometrico del globo, le quali possono oggi incominciarsi a trattare e discutere con dati certi.

Questo capitolo sarà consacrato alla disamina di siffatte quistioni.

Temperatura dell' aria alla superficie della terra. — All' osservatorio di Parigi le temperature dell'aria si osservano con lo strumento qui appresso descritto (*fig.* 364): *bb'* è una maniera di tamburo composto di due forti cerchi di legno congiunti da bracciuoli *rr'*; questo tamburo è girevole intorno di un asse di ferro conficcato nel muro; il termometro è rappresentato in *tt'*; la sua scala, ch' è di vetro, è fermata ad uno de' piuoli *rr'*; esso è ordinariamente rivolto alla parte esterna; ma quando si vuole osservare, si fa girare il tamburo per ridurre la scala innanzi all' occhio dell' osservatore. Tutto questo apparecchio è esposto a settentrione, e però non è colpito dal sole fuorchè per poche ore la mattina e la sera dall' equinozio di primavera fino a quello di autunno, ma allora si gira per ridurlo all' ombra: un piccolo tetto metallico finalmente di figura conica lo difende della pioggia.

Chiamasi *temperatura media* di un giorno quella che avrebbesi sommando insieme tutte le osservazioni fatte in ogni momento della giornata e dividendo la somma per lo numero de' momenti; ma siccome i cambiamenti non sono tanto momentanei nè molto irregolari, così intendesi che alle osservazioni fatte di momento in momento si possono sostituir quelle fatte d' ora in ora per la intera giornata; l' esperienza poi ha fatto vedere che in vece di osservare in ogni ora, si possono usare i due metodi che seguono: 1° prendere la media delle tre osservazioni fatte allo spuntare del sole, alle due pomeridiane ed al tramonto del sole; 2° prendere la media tra la massima e la minima temperatura della giornata. Questo secondo metodo è quello usato all' Osservatorio di Parigi.

La *temperatura media di un mese* è la somma delle temperature medie di tutti i giorni del mese divisa per lo numero di essi giorni.

La *temperatura media dell' anno* è la somma delle temperature medie de' dodici mesi divisa per 12. Ma è anche importante di notare, che si giunge allo stesso risultamento con due altri metodi: 1° prendendo la sola media del mese di ottobre; 2° prendendo la media delle temperature corrispondenti ad una sola ora del giorno, alle 9 cioè del mattino.

Si cerca finalmente la temperatura media dell' anno per giungere alla *temperatura media*

del luogo; questa è la media tra tutte le medie annuali. Ci vogliono molti anni di osservazioni per averne un risultamento che si approssimi un poco alla verità, sebbene questa esiste sotto una condizione: essa suppone che i cambiamenti di temperatura di un luogo accadano per oscillazioni e non per progressione. Se un clima potesse essere, in modo indefinito, progressivamente caldo o freddo; non si dovrebbe più cercare la sua temperatura media sempre variabile, ma la legge della progressione crescente o decrescente di questa temperatura: essa sarebbe sicuramente irregolare ma esisterebbe, perocchè ogni fenomeno che dura procede secondo una certa legge. Le osservazioni par che tendano a dimostrare, tutti i climi della terra essere stabili, e le loro vicissitudini altro non essere che periodi ovvero oscillazioni più o meno ampie. V'ha dunque una temperatura media propria di ciascun luogo, ed è questo un dato fondamentale che dobbiamo fermare. Ne' climi in cui le osservazioni di molti anni consecutivi danno medie molto diverse, ci vogliono molti anni, per avere una temperatura media prossimamente vera. Se accade per esempio che la maggior differenza tra le medie di 20 anni consecutivi giunga fino a 5°, si potrà supporre con qualche probabilità che cento anni di osservazioni darebbero una media la quale conterebbe ancora un errore di $\frac{5}{100}$ ovvero di $\frac{1}{20}$ di grado. E per contro se la maggior differenza tra queste medie giunga appena ad 1°, si potrà supporre che cento anni di osservazioni diano una media il cui errore non oltrepassi $\frac{1}{100}$ di grado.

A Parigi, per esempio, la media degli ultimi trenta anni è di 10°,80, e la differenza tra la più grande e la più piccola di queste medie giugne appena a 3°; onde la vera media di Parigi è ora conosciuta con approssimazione di $\frac{1}{10}$ di grado. Sventuratamente il numero dei punti pei quali si hanno delle medie bastantemente approssimate è ancora scarsissimo. Humboldt intanto ha procurato di discutere tutti i risultamenti conosciuti, e noi daremo qui un' idea del lavoro da lui pubblicato sul proposito (*Mémoires de la Société d' Arcueil*, t. 3.)

Linee isotermiche. — Sopra uno stesso meridiano la temperatura media scema andando dall' equatore verso i poli, e sopra una stessa verticale la temperatura scema al crescere delle altezze assolute. Per la qual cosa la latitudine e l' altezza al di sopra del livello del mare sono le due generali cagioni donde deriva la temperatura media di un punto della terra; ma il potere di queste cagioni è modificato da una moltitudine di cagioni accidentali o locali: la distanza dal mare, la presenza delle montagne, la natura del terreno, la sua cultura ed inclinazione, la direzione dei venti, e tutti i fenomeni atmosferici, sono tante secondarie cagioni, or costanti or variabili, le quali continuamente modificano le due cause generali. Donde intendesi, essere difficilissimo porre un ordine in mezzo a tanta confusione, e sottoporre ad una legge comune fenomeni cotanto svariati.

Ecco intanto alcune definizioni che ci saranno utili ad avvicinare i risultamenti e comprenderli in un sol pensiere.

Immaginiamo per esempio che un viaggiatore faccia il giro del mondo partendo da Parigi, passando per tutti i luoghi dell' emisfero boreale in cui la temperatura media è, come a Parigi, di 10°,8, il cammino che avrà percorso formerà intorno alla terra una linea egualmente calda, e si dà a questa il nome di *linea isotermica*. Laonde una linea *isotermica* è quella che passa per tutti i punti della superficie della terra nei quali la temperatura media è la stessa. La linea *isotermica* di 10°,8 non coincide punto col parallelo di Parigi; essa è tortuosa ed irregolare, vale a dire passa per punti la cui latitudine è diversissima da quella di Parigi. Si può immaginare anche la linea isotermica corrispondente ad un' altra temperatura media quale che siasi: questa potrà esser tortuosa del pari che quella di Parigi, ma secondo altre leggi che le sono proprie. Lo spazio compreso tra due linee *isotermiche* chiamasi *banda* o *zona isotermica*. Così la zona isotermica tra 10° e 5° è quella compresa tra le linee isotermiche di 10° e 5°

Noi ci restringeremo a dividere l' emisferio boreale in sei zone isotermiche, cioè:

1° La zona tra 30° e 23°,5, questa è la zona torrida
2°. . . tra 23,5 e 20
3°. . . tra 20 e 15
4°. . . tra 15 e 10
5°. . . tra 10 e 5
6°. . . tra 5 e 0,

ed indicheremo solo le sinuosità generali di queste diverse zone

Zona torrida. — La raccolta di tutte le osservazioni indica che la temperatura media dell' equatore è compresa tra 27°,3 e 28°. Ma

questa media è modificata dalla grande estensione de' mari equatoriali; sotto la linea, la terra ferma occupa appena la sesta parte della circonferenza terrestre. E però coll'andar verso i tropici, particolarmente verso quello del cancro, non deve recarci meraviglia che si trovino delle temperature medie sensibilmente più alte di quelle dell'equatore; a Pondichery per esempio la temperatura media è 29°,6. Ma le linee isotermiche di 23°,5 sono pochissimo sinuose, e pare che poco si spieghino verso l'uno o l'altro tropico.

Zona tra 23°,5 e 20°. — Questa zona comprende latitudini molto diverse: Algieri, che trovasi quasi sotto lo stesso meridiano di Parigi, è uno dei punti più settentrionali, e nelle linee isotermiche che si avvicinano a 20° si ravvisa una tendenza ad esser convesse verso il polo, nel loro punto che corrisponde al centro dell'Europa.

Zona tra 20° e 15°. — Questa zona passa per le coste della Francia su tutto il littorale del Mediterraneo per una latitudine media di 43°, indi si abbassa tanto ad oriente verso Nangasaki e le coste del Giappone, quanto ad occidente verso Natchez sulle rive del Mississipi dopo il golfo del Messico.

Zona tra 15° e 10°. — Se anche in questa zona si prendono le città di Francia in cui la temperatura media è di 12 in 13° si vede che le latitudini sono più grandi di quelle de' punti di egual temperatura tanto verso oriente come Pekino, quanto verso occidente come Cincinnati, Nuova Yorca e Filadelfia: onde nella zona temperata, a latitudini eguali, il clima di Europa è più caldo di quelli dell'Asia e dell'America.

Zona tra 10° e 5° — Paragonando le temperature medie di Fayettevill e di Copenhaghe, quelle di Quebec e di Stockolm, quelle di Kendal e di Berlino, si ravviserà sempre più la differenza che passa tra il clima del meridiano di Parigi e quelli che sono all'est ed all'ovest dello stesso.

Zona tra 5° e 0°. — È dispiacevole il non avere altro di questa zona fuorchè poche serie di osservazioni fatte nella Siberia e nell'America settentrionale. Tali osservazioni sarebbero tanto più importanti, perchè con esse si potrebbero seguare con una qualche precisione i limiti oltre i quali non v'ha più vegetazione. Questa zona intanto par che comprenda le latitudini da 60 a 70°.

Regioni polari. — Le varie spedizioni inviate in questi ultimi anni verso il polo boreale, ci hanno recate molte preziose osservazioni, dalle quali sembra risultare che la temperatura del polo sia compresa tra i 25 e 30°. al di sotto del zero.

Temperature medie de' giorni, e de' mesi e delle stagioni, temperature estreme e climi. — I climi per rispetto al calorico si distinguono e per la temperatura media dell'anno, e per le variazioni che le temperature medie de' giorni, de' mesi e delle stagioni possono patire. Si può dire che il clima è *ardente* nella zona torrida, *caldo* nella zona tra 23°,5 e 20, *dolce* nella zona tra 20° e 15° *temperato* nella zona tra 15° e 10°, *freddo* nella zona tra 10° e 5°, *freddissimo* nella zona fra 5° e 0°, e *gelato* in quella la cui temperatura media è al disotto di 0. Ma è mestieri distinguere i climi che appartengono alla stessa zona o alla stessa linea isotermica; e noi chiameremo *climi costanti* quelli che non presentano grandi differenze nel corso dell'anno tra il maggior caldo ed il maggior freddo, *climi variabili* quelli in cui questa differenza è alquanto grande, e chiameremo finalmente col Buffon e con l'Humboldt *climi eccessivi* quelli in cui la sopraddetta differenza è grandissima. La seguente tavola potrà servire di esempio per cotesta divisione.

Nomi de' luoghi	Temperat. media dell' anno	Temperatura med. del mese più caldo	Temperatura med. del mese più freddo	Differenza
Funchal	20,3	21,2	17,2	7,0
San Malo	12,3	19,4	5,4	14,0
Parigi	10,6	18,5	2,3	16,2
Londra	10,2	18,0	3,2	14,8
Nuova Yorca	12,1	27,1	—3,7	30,8
Pekino	12,7	29,1	—4,1	33,2

Funchal è un clima costante: questo è un distintivo quasi di tutti i climi delle isole.

San-Malo, Londra e Parigi offrono esempi di climi variabili, nell'atto che Nuova Yorca e Pekino sono apertamente eccessivi:

Basta per poco por mente alla prodigiosa efficacia del caldo e del freddo su gli esseri organizzati, per intendere che ad uguali temperature medie non possono corrispondere le stesse produzioni nei climi eccessivi, costanti e variabili.

Ne' climi possonsi solo distinguere per cotesta differenza cotanto spiccata: se pochi gradi di più di freddo bastano per distruggere le piante, e pochi gradi di caldo di più per distruggere le frutta, egli è chiaro che la stagione e la durata de' grandi caldi e del gran freddo son cose assai necessarie per la conoscenza de' climi. Per il che non debbono gli osservatori por mente solo alle temperature medie de' mesi più caldi e de' mesi più freddi; ma giungere alla conoscenza della distribuzione del calorico per tutto l'anno, e però sono necessarie le giornaliere osservazioni. Queste osservazioni fatte una volta, altro non resta che ordinarle con buon metodo per giungere alle temperature medie de' giorni, de' mesi e delle stagioni.

Non vogliamo dar termine a quest'articolo senza riportare, seguendo il signor Arago, gli estremi di caldo e di freddo osservati all'Osservatorio di Parigi (*Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1825).

MASSIMO DI CALDO

Anni	Mesi	Temperat. in gr. centigradi
1706	8 agosto	+ 35,3
1753	7 luglio	+ 35,6
1754	14 luglio	+ 35,0
1755	14 luglio	+ 34,7
1793	8 luglio	+ 38,4
1793	16 luglio	+ 37,3
1800	18 agosto	+ 35,5
1802	8 agosto	+ 36,4
1803	8 agosto	+ 36,7
1808	15 luglio	+ 36,3
1818	24 luglio	+ 34,5

MASSIMO DI FREDDO

Anni	Mesi	Temperat.
1709	13 gennaio	— 23,1
1716	13 gennaio	— 18,7
1754	8 gennaio	— 14,1
1755	8 gennaio	— 15,6
1768	8 gennaio	— 17,1
1776	29 gennaio	— 19,1
1783	30 dicembre	— 19,1
1788	31 dicembre	— 22,3
1795	25 gennaio	— 23,5
1798	26 dicembre	— 17,6
1823	14 gennaio	— 14,5

Pare che le più alte temperature dell'aria che siansi osservate sotto la zona torrida giungano fino a 40 in 50°, e che Lyon e Ritchie abbiano anche osservata una temperatura di 54° nell'oasi di Mourzouck.

Nelle regioni polari d'altronde il capitano Parry ha osservato talvolta temperature di 40 in 50° al disotto di 0, il che dà circa 100° per limite delle estreme variazioni di temperature che l'aria possa ricevere sulla superficie della terra.

Temperature a diverse altezze al disopra del suolo. — È risaputo che la temperatura scema a misura che ci eleviamo nell'atmosfera: ed una pruova assai luminosa se ne ha delle nevi perpetue che coprono le alte montagne, siccome le Alpi e i Pirenei nei nostri climi temperati, il Chimborazo ed i vulcani di Cotopaxi e di Antisana sotto la zona torrida quasi immediatamente sotto la linea equinoziale. Molte osservazioni sonosi fatte per determinare la legge con cui procede questa diminuzione di temperatura, ma pare che sia diversa nelle diverse latitudini. Così nelle regioni polari ad Ingloolick, latitudine 69° 21′, il capitano Parry innalzò un aquilone a circa 130 metri di altezza con un termometro *a minimo*, ed in quelle alte regioni la temperatura era di 31° al di sotto di 0 del pari che sopra i ghiacci del mare. Humboldt ha fatto un gran numero di osservazioni sotto l'equatore, i cui risultamenti generali trovansi registrati nella seguente tabella:

Altezza	Temperatura media	Differenze
0 metri	27,5	
1000 —	21,8	5,7
2000 —	18,4	3,4
3000 —	14,3	4,1
4000 —	7	7,3
5000 —	1,5	5,5

Laonde in queste regioni, sopra i fianchi di montagne maravigliosamente grandi ed elevate, la diminuzione di temperatura non è punto uniforme; si vede che la minore si ha tra 1000 e 3000 metri. Questa è la falda dell' atmosfera in cui comunemente sotto l'equatore aggiransi le nubi; ivi i vapori più o meno condensati assorbono in maggior copia il calorico del sole, e non deve recar meraviglia se questa regione sia men fredda di quelle in cui l' aria è più pura e trasparente.

Le osservazioni fatte ne' nostri climi danno anche cifre assai diverse: Gay-Lussac nel suo viaggio aereo dopo 174 metri di elevazione trovò la diminuzione di un grado. Nelle Alpi si trova tra i 140 e 150 metri, ne' Pirenei tra i 138 e 125 metri. Per le regioni equatoriali si può porre 200 metri per altezza media, e 170 in 180^m nelle nostre latitudini.

509. *Limite delle nevi perpetue.* — Dobbiamo ora cercare quali sono ne' varî climi le altezze cui è mestieri elevarsi per trovare sul dorso de' monti questo limite di separazione tra le cime sempre nevose e le terre che ricevono i raggi del sole, almeno per alcune settimane, e che possono generare una vegetazione più o meno energica. Fu per molto tempo creduto che dove comincian le nevi perpetue ivi la temperatura media dell'anno fosse essenzialmente quella del ghiaccio in fusione; ma Humboldt ha mostrato per esperienza ciò non esser vero, e le osservazioni del Leopoldo de Buch sulle nevi perpetue della Norvegia e della Lapponia hàn riffermato pienamente questa verità.

Nella zona torrida, al limite delle nevi, la temperatura media dell' aria è di 1°,5 al di sopra dello zero. Non è difficile il render ragione di questo fenomeno; imperciocchè, secondo che osserva il de Buch, il limite delle nevi deriva specialmente dalla temperatura dei mesi più caldi dell' anno; esso s' inalza e si abbassa con questa. Or la temperatura de' mesi più caldi dipende in un dato luogo dallo stato più o meno puro o più o meno vaporoso dell' atmosfera, dalla natura e dall' inclinazione del suolo, dai venti cui è esposto, ec.; onde si comprende che poste le altre cose eguali, il limite delle nevi sarà tanto più alto per quanto la massa di queste sia meno estesa.

Un picco di piccole dimensioni che sorgesse in una pianura elevandosi nell' aria fino alla regione delle nevi, avrebbe semper, sulla cima, i mesi estivi molto più caldi di un enorme masso che raffreddato nell'inverno potrebbe reagire più lungamente sull' aria temperata che lo circonda in estate e generar col tempo una più o men sensibile diminuzion di temperatura.

Abbiamo nella seguente tavola registrate le principali osservazioni fatte finora sul limite delle nevi perpetue, tra l' equatore e le latitudini di 60 in 70°.

Latitudini e e nomi degli osservatori	Nomi de' luoghi	Altezza del limite delle nevi al di sopra dell'Oceano	Temperature medie
0 a 10° Humboldt	Ruenpichincha, Hanh mpichincha, Antisana, Corazon, Colopaxi, Chimborazo	m.t. 4795	1,5
14 a 19° Pentland	Cordeliere orientali dell' alto Perù	5200	
	Cordeliere occidentali dell' alto Perù	5130	
19 a 20° Humboldt	Oribaza, Popacatepetl, Donnabianca, Nevado di Toluca	4590	
27 a 36° Webb	Himalaya (inclinazione meridionale)	3850	
	Himalaya (inclinazione settentrionale)	5000	

42 a 43° Engelhardt e Parrot	Caucaso	3216	3,5
Ramond	Pirenei	2729	
45 a 46°	Alpi	2670	4
Wahlenberg 49	Carpazie	2592	
61° Leopoldo de Buch	Picco di Salelind	1690	6
79° Leopoldo de Buch	Lo Storvans-Field	1060	5

Seguendo Humboldt aggiungeremo qui alcune osservazioni sopra ciascuno di questi luoghi (*Mem. di Humboldt sul limite inferiore delle nevi ec.* ed *Ann. de Physique et de Chim.* tom. XIV, pag. 1):

1° Sotto l'equatore, ne' prodigiosi massi delle Andes, che i Peruviani festosamente dicono la *Cordeliera reale delle nevi*, da una cima all'altra ed in qualunque stagione il limite delle nevi non varia più di 25 o 30 piedi in altezza.

Nelle pianure abitate di Antisana, coperte da magnifiche zolle di erbe aromatiche, all'altezza di 4200 metri cadon talvolta tre o quattro piedi di neve e si conservano per cinque o sei settimane.

Nel regno di Quito non si vede mai la neve al di sotto di 3700 metri dove la temperatura media è di circa 9°.

La grandine cade a minore altezza, circa a 1000 ed anche a 600 metri: essa cade ogni cinque o sei anni, e pare che non siasi mai veduta nelle pianure inferiori.

Non si sa con certezza se nell' Africa si trovino delle montagne vicine all' equatore da presentare in quei climi lo spettacolo delle nevi perpetue.

2° L'osservazione di Pentland è importantissima, perocchè dimostra che dal 14mo al 19mo grado di latitudine australe il limite delle nevi è più alto che sotto l'equatore: gioverebbe conoscere la estensione delle variazioni annuali che questo limite può patire per conoscere l'effetto delle pianure e della configurazione del suolo.

3° Il limite delle nevi non si abbassa più di 215 metri passando dall'equatore alla latitudine di 19 in 20°, cioè un' estensione di 400 leghe.

Qui la variazione annuale della nevi è molto più grande che sotto l'equatore: essa giunge talvolta fino a 600 in 700 metri.

Quasi alla stessa latitudine, le isole Sandwich presentano ad O-Whyhee la notevole cima di Mowha-Roa giudicata di un' altezza di oltre a 5000 metri; piacerebbe averne una misura giusta, perocchè par certo che alle volte sia perfettamente spogliata di neve.

4° La china meridionale dell' Himalaya dà il limite delle nevi quasi all' altezza che si potrebbe dedurre dalle osservazioni messicane; ma la china settentrionale presenta un fenomeno assai singolare, perocchè secondo le misure del Webb e le osservazioni che il medesimo ha fatte al tempio di *Kedarnack* ed a *col di Niti*, il limite delle nevi s' innalzerebbe a 5000 metri, ad un' altezza cioè più grande che sotto l'equatore. La ragione di questo maraviglioso fenomeno dovrebbe certamente ripetersi dalla immensa estensione delle pianure e dalla configurazione del terreno.

5° Il Caucaso ed i Pirenei sono alla stessa latitudine. e frattanto al Caucaso il limite delle nevi si trova per 400 metri più alto di quello de' Pirenei. La temperatura de' mesi più caldi in queste due contrade somministrerebbe sicuramente de' preziosi indizi sulla cagione di questa differenza.

6° Le osservazioni di Leppoldo de Buch sulla vasta catena che divide la Norvegia in tutta la sua lunghezza e che si estende dal 58mo sino al 71mo grado di latitudine, son molto acconce a rendere aperta l'efficacia dello stato vaporoso dell' atmosfera sul limite delle nevi. Imperciocchè non si può ormai più rivocare in dubbio che il notevole sollevamento di questo limite fino a 1600 metri, in queste alte latitudini, non sia un effetto di queste circostanze e della vicinanza del mare.

Temperature a varie profondità al di sotto del suolo.

510. *Dell' esistenza di uno* strato invariabile *che trovasi ad una certa profondità al*

di sotto del suolo, e nel quale la temperatura tiensi la stessa al correr de' secoli.—Fin dal 1671 Cassini avea osservato che la temperatura de' sotterranei dell'Osservatorio di Parigi non prova alcuna variazione nel giro di un anno. Nel 1730 Lahire ripetè la stessa osservazione; ma il conte Cassini, tolto non ha guari all'Accademia delle Scienze, fu il primo che pose mente a tutta la importanza di cotesto notevole fenomeno; e per ben porlo in disamina, nel 1771 cominciò alcune serie di esperienze, e nel dì 4 luglio del 1783, di concerto con Lavoisier, pose finalmente nei sotterranei dell'Osservatorio un sensibilissimo strumento acconcio a dare risultamenti sicuri. Questo strumento, conservato e restaurato per cura del Bouvard, non ha sofferta alcuna variazione dopo trentadue anni: esso è disposto nel seguente modo:

Sul suolo de'sotterranei a 27m,60 al di sotto del pavimento dell'Osservatorio, sorge un masso di pietra dell'altezza di 1m,30 sul quale sta un vase di vetro *vv'* (*fig.* 365) alto 50 centimetri e del diametro di 35 in 40 centimetri. In questo vase pieno di sottilissima sabbia sta il termometro *tt'*; la sua scala *hh'* è di vetro; essa è tenuta da un telajo di ottone il quale a sua posta è fermato alle pareti della campana mercè le traverse *s*, *s'*, *s''* e de fermagli *g*, *g'*, *g''*. Questo termometro fu fatto da Lavoisier con mercurio ben purgato; il bulbo ha circa 7 centimetri di diametro; il cannello è sottilissimo, in modo che la lunghezza di un grado è di 95 o 97 millimetri; per il che si può tener conto anche de' mezzi centesimi di grado che si estendono per $\frac{5}{10}$ di millimetro. Siccome questo termometro non segna più di 15 in 16° al di sopra dello 0°, così fu fatto un riserbatoio in *r* al di sopra dell'asta affinchè in esso potesse raccogliersi il mercurio soprabbondante in caso di temperatura più alta di 10°.

Le antiche osservazioni del Cassini e quelle fatte in continuazione dal Bouvard per trentadue anni, mostrano chiaramente, che dopo più di cinquant'anni la temperatura de' sotterranei dell'Osservatorio si è mantenuta costante ed eguale ad 11°,82; imperocchè in tutto questo periodo non ha variato più di 25 centesimi di grado al di sotto o al di sopra di 11°,82; e dopo si conobbe che ciò probabilmente fu cagionato da una corrente d'aria introdotta casualmente nel sotterraneo in occasione de' lavori delle cave di Parigi.

Parigi solo in tutto il mondo ha una serie così bella di osservazioni precise e continuate per più di mezzo secolo; ma un fenomeno che si mantiene in tanta regolarità non può essere accidentale, e noi ne concluderemo, trovarsi in tutti i luoghi, ad una certa profondità un punto in cui la temperatura si serba costante col volger degli anni, siano quali si vogliano le variazioni estreme che si appalesano e si succedono alla superficie della terra.

La serie di questi punti di temperatura invariabile forma una superficie intorno al globo la quale diremo *strato invariabile*; fino a questo strato si estendono le rapide o periodiche variazioni cui la crosta della terra è esposta per le vicissitudini del giorno o della notte, per la varietà de' venti e per lo cambiamento delle stagioni.

All'equatore pare che lo strato invariabile stia a poca profondità; questa cresce con la latitudine, e ne' nostri climi trovasi alla profondità di 25 in 30 metri. In tutti i luoghi della terra la temperatura di questo strato par che sia un poco più alta della media annuale della superficie, e l'eccesso par che cresca con la latitudine.

Laonde noi siamo indotti ad immaginare ad una certa profondità uno strato, ciascun punto del quale conserva perennemente la stessa temperatura, la quale è quasi eguale alla temperatura media del punto della superficie che verticalmente vi corrisponde; ma non dobbiamo nello stesso tempo credere che questo strato abbia una curvatura regolare; le pianure, i monti, le valli, la natura del terreno, i laghi, i mari, e mille altre cagioni forse, ingenerano in esso delle sinuosità che l'esperienza potrà un giorno farci conoscere.

Dell'andamento del calorico al di sopra dello strato invariabile.—Fra la superficie della terra e la profondità di 20 in 25 metri si hanno pochissime osservazioni, e queste generalmente non giungono oltre la profondità di 7 in 8 metri. Nondimeno dal confronto di esse par che possiamo inferire le conseguenze che seguono, le quali sembrano particolarmente applicabili alle latitudini medie dell'emisfero boreale:

1° Le variazioni diurne non si propagano oltre la profondità di circa un metro;

2° Le temperature medie annuali delle varie falde poco differiscono dalla temperatura media annuale dell'aria;

3° Le differenze tra il massimo ed il minimo di ciascuna falda van diminuendo in progressione geometrica; per rispetto alle profondità prese in progressione aritmetica partendo dalla superficie: onde esprimendo per x la profondità di uno strato, e per d la dif-

ferenza tra il suo massimo ed il suo minimo, si ha $d=ab^{-x}$, essendo a e b due costanti che si determinano con l'osservazione; con tutto ciò questa formola cade in difetto quando $x=0$, perocchè non riproduce le variazioni superficiali;

4° Da tutte le osservazioni apparisce che alla profondità di 8 in 9 metri la variazione annuale non oltrepassa 1°; giunge a 0°,1; a 15 o 16 metri; ed alla profondità di 20 in 25 metri non giunge ad un centesimo di grado;

5° Alla profondità di 8 metri, ove la variazione è di 1° le stagioni sono perfettamente a rovescio, vale a dire che il massimo accade verso il primo di gennaio ed il minimo verso la fine di giugno.

511. *Della temperatura a grandi profondità.* — Parecchi osservatori aveano già avvertito che nelle profondità delle miniere si sente un caldo sensibile; ma quelli eran tempi in cui si avea più brama di render ragione de' fatti che di osservarli. In varie maniere dunque rendevasi ragione di questo caldo sotterraneo la cui esistenza non era bene assicurata: alcuni con Boyle ne ravvisavano la cagione nella scomposizione de' piriti, o piuttosto in quelle sorte di fermentazioni cui si ricorreva così spesso per rendere ragione di fenomeni intrigati; altri lo consideravano come una riprova o una conseguenza della famosa ipotesi del *fuoco centrale* immaginato dalla più remota antichità e poi ora ammesso ed ora rigettato da' filosofi e da' fisici. Ma quando il dubbio e la discussione seguirono il gusto delle teoriche a priori, quando la verità si andò cercando per via di fatti da esperienza fermati e non più per sottigliezze logiche, si capì che l'esistenza o la non esistenza del calorico sotterraneo era una delle più grandi quistioni che la fisica proporre si potesse, e che per risolverla un'osservazione termometrica meglio valesse della più eloquente dissertazione. Pare che Gensanne fosse stato il primo osservatore che abbia portato il termometro a profondità gradatamente maggiori, ed abbia scoperto il fatto importante che *la temperatura cresce con la profondità.* Coteste sperienze rimontano all'anno 1740: esse furono fatte nelle miniere di piombo di Giromagny, tre leghe lungi da Befort. Nel 1785 de Saussure fece simili sperienze nel cantone di Berna. Nel 1791 de Humboldt fece anche molte sperienze nelle miniere di Freyberg, insieme con Freisleben. Nel 1802 il Daubusson diè nuova vita a questa quistione fondamentale, e da questo tempo le osservazioni si sono moltiplicate in Francia, in Germania, in Inghilterra, in America, e quasi in tutti i paesi dove i viaggiatori possono penetrare e dimorare per un certo tempo.

Gli osservatori generalmente si giovano per siffatte ricerche delle gallerie sotterranee che fannosi cavandosi le miniere, e delle copiose sorgenti che incontransi in questi perforamenti del terreno; ma nei luoghi ove è possibile di fare i pozzi artesiani di molta profondità, si possono fare anche osservazioni scandagliando i medesimi. Nel primo caso pongonsi dei termometri fissi, i quali osservansi direttamente; nel secondo caso è mestieri adoperare i termometri a massimo e minimo. Quelli adoperati con maggiore successo sono i termometri a massimo e minimo di Walferdin, ed il termometrografo: daremo la descrizione di entrambi.

Termometro a massima del signor Walferdin. — Questo strumento (*fig.* 366) è un comune termometro a mercurio avente nella sua parte superiore un *riserbatoio di scarica a* di una forma particolare, entro del quale è prolungato a punta isolata *b* il cannello dell'asta. Supponiam per esempio che questo termometro abbia 45° di *corsa*, e che si voglia osservare una temperatura di circa 30°: si comincia dall'inclinare l'istrumento in modo che la punta *b* peschi nel mercurio di riserva (*fig.* 367); riscaldasi prima un poco, e poi raffreddasi fino ad una temperatura inferiore a quella che si vuol misurare; allora passerà nell'asta e nel riserbatoio inferiore una quantità di mercurio maggiore del bisogno; raddrizzasi lo strumento, e scotendolo un tantino, il mercurio di riserba lascia la punta cadendo nel riserbatoio *a*. Ciò fatto s'immerge il termometro in un bagno insieme con un buon termometro campione; questo bagno si riduce per esempio a 20°; il mercurio eccedente uscendo per la punta, si sa che il tubo è perfettamente pieno a 20°. Lo strumento così è preparato per l'osservazione: si può ora metterlo nel suo astuccio e farlo discendere nel fondo del pozzo di cui si vuole sapere la temperatura. Finchè la temperatura dell'acqua è al di sotto di 20°, il mercurio discende e non v' ha inconveniente alcuno; quando giunge a 20°, il tubo starà pieno; e quando finalmente giunge ad una temperatura che oltrepassi i 20°, il mercurio comincia a trabboccare, e continua finchè il termometro dopo un certo tempo non siasi ridotto all'equilibrio. Allora dando una scossa allo strumento per togliere la goccia dalla punta (*fig.* 368) e tirandolo sopra, la co-

lonna discenderà nel tubo, in guisa che quando si estrae dall' astuccio, la sommità di questa sarà più o meno dalla punta lontana. Il termometro allora si riporta nel bagno a 20° misurati col solito campione, e si osserva il punto in cui si arresta la sommità della colonna: se questo punto corrisponde a 10°, partendo dalla punta, è chiaro che la temperatura della sorgente sarà di 20°+10°.

Non sarebbe necessario porre il termometro dapprima in un bagno di conosciuta temperatura; ma allora sarebbe mestieri, dopo l' osservazione, riprodurre artificialmente per via di tentativi graduati una temperatura atta a riempire perfettamente il tubo; questa temperatura, misurata col termometro comune, sarebbe, siccome è chiaro, la massima temperatura cui è stato esposto lo strumento.

Termometro a minimo di Walferdin. — Questo strumento è rappresentato nella figura 369: esso è anche un termometro a misura ordinaria, ma verso la parte inferiore dell'asta trovasi un picciolo riserbatoio d' alcool nel quale pesca la punta isolata in cui termina il tubo; nella parte di sopra v' ha un altro riserbatoio pieno parimenti di alcool. Se si voglia per esempio osservare la temperatura del mare a molta profondità, la quale suppongasi dover essere di 6°, s' incomincia dal raffreddare lo strumento fino a 0,o almeno per alcuni gradi al di sotto di 6°; allora s' inclina lo strumento affinché il mercurio tocchi la punta (*fig.* 370), e si riscalda un poco affinchè la dilatazione obblighi il mercurio a montare nell' asta, vi si fa in tal modo passare una colonna che ne occupi una lunghezza di 10 in 15°; fatto questo, si raddrizza lo strumento, si tuffa in un bagno di temperatura conosciuta e più alta di 6°, di +12° per esempio, poi si nota la divisione corrispondente alla sommità della colonna di mercurio: lo strumento allora è preparato per l' osservazione. Si fa discendere nel mare: se le prime falde sono calde, la colonna di mercurio è respinta, e lo può esser fino a che sia menata in parte nel riserbatoio superiore: ma quando si giunge alle falde fredde, il mercurio discende di nuovo fino alla punta inferiore; esso ricade in parte nel riserbatoio fino a che l' equilibrio sia composto: quando si fa risalire, la dilatazione innalza la colonna del mercurio rimanente, ed allora basterà vedere sul tubo a quel numero di gradi corrisponde; questo numero sottratto da 12, temperatura norma o del punto di partenza, dà l' abbassamento della sorgente al di sotto del punto di partenza.

Termometrografo. — Esso è composto da un riserbatoio d' alcool, da una colonna ricurva di mercurio, e da due cilindri di ferro inviluppati nel vetro i quali fanno da indici (*fig.* 372): l' alcool riempie tutto il riserbatoio *r* ed una parte del cannello fino al *m*; la colonna di mercurio discende fino alla curvatura inferiore *i*, e si alza fino ad *m'*; al di sopra di *m'* trovasi un' altra colonna d' alcool la quale riempie in parte il piccolo riserbatoio *r'*; un indice è espresso alla grandezza naturale nella figura 373. Il piccolo invoglio del cilindro di ferro è spianato in quella parte con cui sta appoggiato sul mercurio, ed un capello forma un anello elastico il quale preme le pareti del tubo ed è capace di trattenere l' indice quando trovasi nuotante solo nell' alcool; ma quando l' indice è spinto dal mercurio, l' elasticità del capello non gl' impedisce di muoversi: in tal modo esso cammina o si arresta secondo che il mercurio lo spinge o l' abbandona. Quando si vuol porre in opera questo strumento, l' indice si fa scendere sul mercurio mercè una calamita. Nella figura 372 si vede che l' indice *b* è ordinato a segnare la temperatura più bassa ossia il minimo, e l' indice *h* la temperatura più alta ossia il massimo. Il termometrografo ed i termometri di Walferdin debbono esser rinchiusi in astucci metallici forti a segno da sostenere le grandi pressioni che si generano a quelle profondità cui si vogliono far discendere, e chiusi perfettamente affinchè coteste pressioni non si propaghino al di dentro: la figura 374 rappresenta uno di questi astucci: è mestieri empirli di acqua fino alla metà o ai tre quarti, affinchè l' equilibrio di temperatura si abbia al più presto possibile (1).

Tutte le osservazioni raccolte nelle varie

(1) Oltre ai termometri a massimo e minimo descritti dall' autore, ve ne sono parecchi altri tra i quali par degno di esser ricordato quello di Rutherfort. Esso è composto di due termometri ordinarii ma ad aste orizzontali, uno è ad alcool, entro di cui sta un pezzettino di smalto; l' altro è a mercurio, e contiene un pezzettino di acciaio. Quando ciascuno di questi galleggianti trovasi sulla superficie del rispettivo liquido, lo strumento è apparecchiato. Col caldo il termometro a mercurio spinge il pezzettino di acciaro, e quando per freddo il mercurio si accorcia, quello resta dove fu spinto dalla dilatazione di questo, e così segna il massimo. In questo caso il pezzettino di smalto dell' altro termometro resta immerso nell'alcool che si dilata: ma quando questo si restringe per freddo, il pezzettino di smalto arrivato alla superficie dell' alcool sarà trasportato fino al punto del maggiore restringimento, e così segnerà il mini-

parti del globo, dallo strato invariabile fino alla profondità di 500 metri, ci conducono senza eccezione alle illazioni che seguono, le quali sono ormai irrefragabili.

1° al di sotto dello strato invariabile in cui tutte le variazioni termometriche della superficie cessano interamente dopo di essersi indebolite per gradi, le temperature restano perfettamente costanti a tutte le profondità, senza soffrire la minima variazione col volger degli anni, e queste temperature costanti crescono con le profondità.

2° Il progressivo aumento di temperatura varia da un luogo all'altro tra limiti molto estesi: in certi punti basta discendere per 14 o 15 metri al disotto dello strato invariabile per avere 1° di elevazione di temperatura; in altri luoghi; al contrario, è mestieri discendere oltre i 50 o 60 metri; generalmente si pone la profondità media di 25 o 30 metri per 1°; e questo risultamento appunto si ha a Parigi nel pozzo di Grenelle, il quale va ad una profondità 518 metri, e dà dell'acqua la cui temperatura è di 27°,7; la temperatura dello strato invariabile de' sotterranei a 28 metri essendo di 11°,7 si ha un aumento di 16° per 528 metri e quindi di 1° per ogni 33 metri.

512. *Temperatura delle sorgenti.* — Tutte le copiose sorgenti godono di una temperatura che in tutto l'anno varia pochissimo al variar delle stagioni: nel nostro emisfero esse generalmente toccano il più alto grado di caldo verso il mese di settembre ed il più alto grado di freddo verso il mese di marzo: la differenza tra questi due punti estremi giunge appena ad 1° o 2°. La temperatura media delle sorgenti, del pari di quella degli strati pei quali esse passano, è alquanto più alta della temperatura media dell'aria. Ma Vahlenberg ha dimostrato che per le più alte latitudini cotesto eccesso può giungere a 3° o 4°. Alcune osservazioni d'altronde farebbero supporre che sotto la zona torrida la temperatura media dell'aria superi alquanto quella delle sorgenti.

Le sorgenti termali poi acquistano talvolta una temperatura vicina a quella dell'ebollizione, e tutto ciò che finora sappiamo sulla giacitura di queste sorgenti non ci permette di decidere se la loro alta temperatura derivi dalla profondità d'onde esse vengono o da circostanze peculiari degli strati che attraversano. Per togliere la difficoltà non basta osservare che la temperatura di parecchie di queste sorgenti è restata costante per molti anni; imperciocchè potrebbe darsi che vi sieno cagioni locali che per molti anni non cessino o non si alterino: le sorgenti saline ne sono un esempio, e se alcuno dicesse che queste vengono dal mare, e però non essere locale la cagione che le rende salse, potrebbesi rispondere questa origine essere molto dubbia, ma del rimanente esservi un gran numero di sorgenti minerali le quali certamente non vengono dal mare ed intanto da molti anni vengono in dissoluzione gli stessi elementi e con le stesse proporzioni.

Or se vi sono cagioni locali acconce ad introdurre nell'acqua, in modo invariabile e permanente, elementi che ne modificano la natura, si può anche supporre l'esistenza di cagioni locali atte a cambiare la temperatura in modo permanente. Abbiam voluto porre qui tali considerazioni a solo fine di mostrare che la quistione non è punto sciolta, e che offre un bello e grande obbietto di ricerche.

In parecchi luoghi della terra, e particolarmente vicino ai vulcani ardenti, trovansi delle acque termali zampillanti, con altre eruzioni di acqua o di gas, le quali meritano anche tutta l'attenzione dei meteorologisti e de' geologi. È mestieri conoscere la loro temperatura ed il loro andamento. Ricorderemo qui come per esempio la famosa sorgente di Geyser in Islanda. Il Geyser ha eruzioni quasi periodiche, esse vengon fuori da un ampio bacino che ha la profondità di circa 23 metri ed il diametro di 60. Da prima si ode spaventevole rumore sotterraneo, e tosto per l'apertura del bacino veggonsi uscire enormi colonne d'acqua che spingonsi fino all'altezza di 100 metri al di sopra del suolo, trasportando corpi gravi e finanche de' ciottoli di gran volume. La temperatura di queste acque è di 82.° Talvolta le eruzioni scarseggiano in un giorno, ed altre volte se ne han molte in un minuto.

513. *Della temperatura dei laghi e dei fiumi, e della loro congelazione.* — Le falde superiori dei laghi soffrono grandissime variazioni di temperatura; tutti sanno che esse posson gelarsi nell'inverno, e giungono a 20 in 25° nella state. Ma quel che accade alla superficie non si ripete nelle falde più profonde: in queste masse fluide la distribuzione del calorico non avviene con le stesse leggi nè per le stesse cagioni de' solidi, ed importerebbe moltissimo

mo. Tutto questo accade, siccome è noto, per la capillarità, imperciocchè l'alcool bagna lo smalto, ed il mercurio non bagna l'acciaio, onde in vece di acciaro si può anche adoperare il vetro, ma l'indici di acciaro son buoni perchè da fuori si fanno andare avanti o dietro mercè una calamita.

fare esperienze sul proposito. Credo che de Saussure sia stato il primo osservatore che abbia posto mente a questa grande quistione; egli girò tutti i laghi della Svizzera, ne misurò la temperatura alla superficie ed a varie profondità, e scoprì il notevole fatto che a grandi profondità la temperatura dei laghi è di circa 5°; ignoravasi allora che l'acqua ha un massimo di densità, ma con quest'ultimo fatto si rende facilmente ragione del primo.

Ne' tempi caldi dell'anno due cagioni concorrono ad elevare la temperatura delle falde superiori dell'acqua de' laghi, l'aria che le tocca, ed il calor solare che penetra fino ad una certa profondità. Queste falde riscaldate si mescolano in mille modi per l'agitazione delle onde, ma senza poter discendere al fondo, tra perchè di gravità specifica minori, e perchè le maggiori agitazioni delle onde non si propagan mai oltre una piccola profondità.

È perciò nella state fino al termine dell'autunno la temperatura dev'essere continuamente crescente con le profondità; e ciò appunto dimostrano le sperienze di Saussure, e quelle fatte dopo con particolar diligenza da Labèche (*Ann. de Phys. et de Chim.* t. XIX, p. 77).

Durante l'inverno la falda superiore si raffredda per due cagioni, per l'aria fredda che la tocca, e per l'irraggiamento particolarmente notturno. Questa falda si restringe pel freddo, prende una maggiore densità, e scende ad una piccola profondità mescolandosi alle falde meno fredde che le stavano di sotto; nel discendere di questa, un'altra ne succede, la quale a sua posta si raffredda e scende; ne vien quindi un'altra che soffre le stesse vicende, e così per queste correnti che continuamente ascendono e discendono tutte le falde superiori si van raffreddando. Ma conviene ricordarsi che tutto il calorico si perde alla superficie. Se l'acqua non avesse un massimo di densità, è chiaro che in tutto il tempo del raffreddamento la temperatura andrebbe tuttavia scemando con la profondità, imperciocchè l'acqua più calda, come più leggiera, deve montar su per ubbidire alle leggi dell'equilibrio. Onde la superficie non potrebbe mai arrivare allo zero, se non quando tutta la massa fosse per lo meno ridotta alla stessa temperatura, e però si avrebbe una congelazione simultanea in tutta la grossezza dalla superficie fino alla maggiore profondità. Ma atteso il massimo di densità i fenomeni accadono diversamente: posto che le falde della superficie son giunte alla temperatura di questo massimo, esse scendono, ed altre vengono in loro luogo, finchè tutta la massa sia giunta a questa temperatura. Supponiamo per poco che il freddo dell'inverno duri tanto tempo da generare cotesta distribuzione di calorico e di densità: continuando il freddo, *e sempre alla superficie*, la falda superiore non potrà più scendere, come quella che col farsi più fredda è diventata più leggiera: l'abbassamento di temperatura adunque potrà continuare e prolungarsi indefinitamente, imperciocchè questa falda si andrà sempre più facendo leggiera. In una massa dunque perfettamente tranquilla e senza alcuna agitazione, questa prima falda dovrebbe congelarsi senza che le falde inferiori prendessero parte all'abbassamento di temperatura, tranne quel poco che deriva dalla conducibilità sempre debolissima ne' liquidi. Ma siccome poi realmente si hanno delle agitazioni più o meno forti e però più o meno profonde, così non sarà solo la prima che si raffredderà oltre il massimo, ma tutta quella grossezza in cui l'acqua è continuamente rimescolata dalle agitazioni delle onde. In tutto il tempo di cotesto raffreddamento, le falde inferiori fino alle più grandi profondità resteranno alla costante temperatura del massimo. Laonde in questo tempo la temperatura crescerà con la profondità fino alla prima falda che trovasi a 4°, e al di sotto di questa sarà costante. Non si hanno molte esperienze fatte durante il rigido inverno, ma quelle che si hanno tendono a fermare questo risultamento.

Ecco perchè ne' laghi profondi la congelazione comincia necessariamente dalla superficie e lentamente si propaga solo ad una piccola profondità.

Da questo stesso principio intendiamo esser necessario un freddo rigidissimo e durevole per la congelazione di acque tranquille e profonde: imperocchè è mestieri che tutte le falde riscaldate nell'estate possano venire alla superficie per perdere il calorico che le tiene al di sopra della temperatura del massimo; e se queste falde formano una grossezza di 5 o 600 piedi, è chiaro che dovranno mettere maggior tempo a venire l'una dopo l'altra alla superficie per perdervi il loro eccesso di temperatura, di quello che vi metterebbero se formassero solo una grossezza di 20 a 30 piedi. Verso le sponde, sopra i banchi molto larghi, e dovunque la profondità è piccola, si vedranno dei pezzi di ghiaccio che si formano e crescono in grossezza; nell'atto che dove si ha grande profondità, la superficie riman libera e la temperatura si mantiene al di sopra dello zero.

Or qui si presenta una quistione da risolvere, sulla quale abbiamo appena alcuni dati incerti; si vuol sapere cioè fino a quale profondità il caldo estivo si propaghi. Se per esempio esso non andasse oltre i 100 metri, un lago 5 o 600 metri profondo non gelerebbe più tardi di un altro profondo 100 metri; imperocchè nel primo le falde che sono al di sotto di 100 metri restano alla temperatura costante del massimo in tutto l'anno, perocchè è chiaro che esse sono come se non vi fossero, e che si possono considerar come separate dal resto della massa, senza mutar per niente i fenomeni che accadono nelle falde superiori.

Gioverebbe anche fare delle sperienze sulla temperatura dell'acqua alla superficie, nel momento della congelazione; imperciocchè si ha tutta la ragione di sospettare che cotesta temperatura possa abbassarsi al di sotto dello zero senza che la congelazione accada, sia che vi si opponga la continua agitazione delle molecole, sia che v'intervengono altre cagioni.

Se prima della congelazione la temperatura di un lago si è dovuta trovare a 4°, in tutta la sua profondità, è agevole l'intendere che dopo sciolto il gelo lo stesso fenomeno si debba riprodurre prima che le falde superficiali possano riscaldarsi al di sopra del massimo. Cotesti due stati di equilibrio suppongono per altro che le cagioni di riscaldamento o di raffreddamento non siano troppo improvvise, affinchè le correnti ascendenti o discendenti possano regolarmente stabilirsi. Se avviene il contrario, se queste cagioni agiscono irregolarmente, come, a cagion d'esempio, un freddo improvviso e prolungato si faccia sentire in autunno, si comprende che dal mese di decembre possa esservi congelazione alla superficie, quando ad una certa profondità vi fosse ancora una temperatura superiore a quella del *massimo*.

Nei fiumi la distribuzione del calorico si compie secondo altre leggi, atteso il moto di trasferimento delle molecole liquide. E per fermo, in questo caso si ha un continuo mescolarsi delle falde superiori ed inferiori che tende a daro una stessa temperatura a tutta la massa. Ma siccome questo moto varia dalla superficie al fondo, dal mezzo del letto fin verso le sponde, così ne risulta una serie di fenomeni accidentali provenienti da queste circostanze. Fra questi i soli osservati con qualche cura son quelli della congelazione. Con esperienze sicure si è dimostrato che in certi casi la congelazione comincia dalla superficie, ed in altri invece comincia dal fondo.

Quando i fiumi *trasportano*, si può generalmente dire che quei pezzi di ghiaccio i quali urtandosi prendono forme tondeggianti o angolate, siansi in origine formati alla superficie: alcuni si saranno staccati dalle sponde; ma altri da prima erano solo dei ghiacciuoli o particelle galleggianti che hanno preso volume nuotando sull'acqua.

Non cade verun dubbio sulla prima generazione dei ghiacci, imperciocchè osservasi verso le sponde una lamina di ghiaccio dai flutti continuamente battuta e rotta. Quivi la congelazione comincia, imperciocchè generalmente l'acqua vi è meno profonda, e tocca un terreno continuamente raffreddato dall'aria e dall'irraggiamento. Il ghiaccio che si unisce alle sponde viene raffreddandosi anch'esso per questa doppia cagione, e fa allora, siccome la riva, da corpo freddo atto a gelare l'acqua cha lo tocca. I grandi o piccoli frammenti separati da questa massa galleggiano per loro leggerezza specifica: essi raffreddansi più dell'acqua, e tutte le gocce che vi cadono sopra tosto si congelano, perciocchè diventan fredde ed immobili.

La generazione dei ghiacci alla superficie dell'acqua lungi dalle rive e da tutti i corpi solidi, è stata rivocata in dubbio da alcuni fisici: egli è infatti difficile il darne una prova diretta, imperciocchè trovandosi nel largo dei frammenti di ghiaccio, o anche dei rudimenti che lo formino, si può sempre supporre che vengano dalle sponde, essendo stati distaccati dai fluidi. Ma è forza concedere che la superficie libera dalle acque potendo essere indefinitamente raffreddata al di sotto dello zero, debba finalmente, non ostante il suo moto, dare nascimento ad aghi di ghiaccio, i quali col raffreddarsi sempre più per lo contatto dell'aria e per lo irraggiamento s'ingrandiscono.

Anche la generazione del ghiaccio verso il fondo dell'acqua fu per lungo tempo negata, ma abili osservatori ne hanno raccolte le prove dirette, talchè ora si tratta solo di renderne ragione e non di negarne la possibilità. L'acqua dei fiumi e dei torrenti, di continuo agitata, può certamente discendere per molti gradi al disotto dello zero senza congelarsi; e dove la profondità non è grandissima, tutta la grossezza della falda liquida può partecipare a cotesto abbassamento di temperatura; le materie solide finalmente del fondo possono raffreddarsi anch'esse toccate continuamente dall'acqua; ma verso il fondo la velocità è minore di quella della superficie. La scabrosità del letto forma una quantità di piccole cellule o vogliam dire ricoveri,

ove l'acqua è pochissimo agitata; e però intendesi che ivi l'acqua può congelarsi anche meglio che alla superficie. Altre cagioni forse possono anche agevolare il fenomeno; ma l'uffizio delle superficie solide raffreddate non è quale alcuni lo suppongono; imperciocchè nell'esperienza di Fareinheit con la quale la temperatura dell'acqua si abbassa per 10 o 12° al disotto dello zero senza che si abbia la congelazione, il liquido tocca le pareti raffreddate del vase che lo contiene, ed in quei punti di contatto non si ha una congelazione maggiore di quella dei punti della superficie libera.

Affinchè i fiumi ed i torrenti possano gelarsi in tutta la loro larghezza, è mestieri di un freddo intensissimo e molto prolungato: questo fenomeno per altro varia coll'altezza, la velocità e la profondità delle acque.

Quando un fiume si è gelato alla superficie, la falda di ghiaccio che lo copre da prima cresce rapidamente in grossezza, ma poi il freddo va penetrando più lentamente, attesa la poca conducibilità del ghiaccio.

L'irraggiamento notturno par che abbia molta efficacia su questo fenomeno, imperocchè talvolta si veggono in modo assai spiccato le falde che sonosi successivamente generate le une sotto le altre. Nell'inverno per esempio del 1821 si son contate fino a 21 falde distinte, in ghiacci di 15 pollici di grossezza fatti sopra i laghi che circondano New-Heaven (America): dalla parte di sopra la grossezza delle falde variava tra 12 e 18 linee; dalla parte di sotto poi verso la superficie dell'acqua riducevasi appena da 3 a 6 linee: si sapea che il freddo era sempre andato crescendo.

Il ghiaccio del pari di ogni altro corpo può restringersi pel freddo e dilatarsi pel caldo. E però spesso con gran fracasso in più luoghi si fende, somigliando talvolta la scarica di moschetti di uno squadrone, ed altre volte i colpi sono più forti di quelli de' cannoni.

Quando i ghiacci non sonosi rotti prima del loro improvviso scioglimento, possono facilmente generare degli spaventevoli disastri. Tra i rimedi immaginati per riparare a questi malanni, il più efficace sembra esser quello d'introdurre sotto al ghiaccio di passo in passo delle piccole bombe facendole poscia scoppiare: lo scoppio genera numerose fenditure, ed i frammenti che ne derivano non sono così grandi da riuscire pericolosi.

514. *Della temperatura de' mari e della generazione de' ghiacci polari.* — Parecchi abili osservatori han percorso in questi ultimi anni i mari equatoriali e polari; essi han fatto da per tutto numerose osservazioni sulle temperature e sopra i fenomeni che ne dipendono, le quali sono veramente preziose per la scienza. Ma è mestieri ricorrere alle opere di costoro per vederne la minuta discussione. Noi ci restringeremo a riferire qui le conseguenze generali cui sono stati condotti.

La temperatura dell'aria sul mare, molto lungi dalle sponde, patisce generalmente nel periodo di un giorno assai meno variazioni che sulla terra ferma.

Sopra i mari equatoriali, per esempio, la differenza tra il massimo ed il minimo del giorno è al più di 1 o 2°, nell'atto che sulla terra ferma giunge a 5 o 6°.

Nelle regioni temperate tra 25 e 50 gradi di latitudine la differenza tra il massimo ed il minimo del giorno è anche molto picciola, giungendo appena a 2 o 3°; nell'atto che sulla terra ferma questa è grandissima; a Parigi giunge talvolta a 12 o 15°.

La minima temperatura si ha sul mare del pari che sulla terra allo spuntar del sole; ma alcuni osservatori pongono la temperatura massima verso il mezzo giorno invece di due o tre ore dopo.

Paragonando la temperatura dell'aria con quella che prende il mare alla superficie, si hanno i risultamenti che seguono:

Entro i tropici l'aria nelle più alte temperature è generalmente un poco più calda della superficie dell'acqua, anche nel tempo della sua più alta temperatura.

Ma se si prende la temperatura dell'aria e dell'acqua di quattro in quattro ore, siccome ha fatto il capitano Duperrey, e si paragonino poi tutte queste temperature come sonosi avute, si giunge ad un risultamento opposto, cioè che anche tra i tropici l'acqua è generalmente più calda dell'aria.

Tra 1850 osservazioni fatte da quest'abile navigante, nelle latitudini comprese fra 0 e 20° di latitudine settentrionale e meridionale, nel tempo del suo viaggio intorno al mondo, il mare si è trovato 1371 volte più caldo dell'aria, e sole 479 l'aria più calda dell'acqua.

Nelle latitudini più elevate, tra 25 e 50°, l'aria rare volte è più calda della superficie dell'acqua; e nelle regioni polari quasi non si è dato mai che l'aria sia più calda dell'acqua; essa è sempre più fredda, anzi molto più fredda.

Se ora ci faremo ad osservare le assolute temperature del mare alla superficie ed a varie profondità, saremo guidati alle seguenti illazioni:

1°. Entro i tropici la temperatura scema al crescere della profondità;

2°. Ne' mari polari la temperatura cresce con la profondità;

3°. Ne' mari temperati compresi tra 30 e 70° di latitudine la temperatura va scemando meno quanto più cresce la latitudine, e verso il parallelo di 70° essa comincia ad andar crescendo.

Vi deve essere perciò una zona in cui la temperatura è costante dalla superficie sino a grandissima profondità.

Avendo nelle antecedenti proposizioni riassunte tutte le osservazioni fatte finora, dobbiamo ora cercare le cagioni che possono mantenere questa singolare distribuzione di calorico nella mobile massa di acqua raccolta nelle ampie profondità de' mari.

Intendesi prima di tutto perchè la superficie delle acque non può essere paragonata a quella della terra, nè per lo riscaldamento durante il giorno, nè per lo raffreddamento durante la notte; e ciò deriva dalla mobilità del liquido le cui molecole son mescalate fino a molta profondità, tanto per le correnti generate dalle diverse densità, quanto per l' agitazione delle onde. Di giorno la falda superficiale si riscalda meno, perocchè essa vien raffreddata dall' evaporazione, e sommersa dall' agitazione: di notte è anche meno raffreddata, perocchè raffreddandosi si restringe, e per la maggiore densità che prende andrebbe giù se il moto delle onde non la mescolasse con le falde vicine. Laonde il riscaldamento del pari che il raffreddamento è meno sensibile, imperciocchè tanto l'uno quanto l' altro operano in una falda più o meno grande (1).

L'aria che tocca perennemente la superficie del mare deve anch'essa partecipare a questa uniformità di temperatura che altre cagioni tendono a mantenere alla superficie delle acque.

Ma grandissime difficoltà incontransi per rispetto alla temperatura delle acque profonde. Sotto l' equatore a 1000 braccia di profondità trovasi la temperatura di 6 in 7 gradi: come mai ha potuto quest' acqua prendere siffatta temperatura, se alla superficie essa non ha mai meno di 20 o 25°? Verso i poli alla profondità di 700 braccia la temperatura giunge fino a 2 o 3°; come mai quest' acqua si è potuta riscaldare fino a questo punto, se alla superficie, nella stagione calda quando i naviganti possono solcare que' mari non giunge mai al di sopra dello zero?

Queste difficoltà non sono interamente sciolte: pure non par da dubitare, che delle correnti generate per la diversa pressione che soffrono le falde dello stesso livello verso l'equatore o verso i poli non valgono potentemente a produrre cotesta distribuzione di calorico.

Par certo che v' abbia, in generale, una corrente superficiale; che trasporta verso i mari polari l'acqua calda de' tropici, ed una corrente inferiore che trasporta dai poli verso l' equatore, l'acqua fredda delle regioni polari; ma coteste correnti son modificate nelle loro direzioni ed intensioni da una moltitudine di cause dipendenti dalle profondità de' termini dei mari, dalla loro figura, e dall' influenza del vento e delle maree.

Una delle necessarie conseguenze dell' abbassamento di temperatura alla superficie delle acque è la formazione dei ghiacci perenni che coprono le regioni polari. È questo uno dei più grandi fenomeni che la natura ci presenta, e ci par nostro debito il darne un idea.

Prendiamo particolarmente dal capitano Scoresby i particolari nei quali ci è permesso entrare sul proposito: l' opera di lui è stata quasi scritta sopra i luoghi; imperciocchè Scoresby andando per la pesca delle balene ha fatto dodici viaggi fino alle più alte latitudini; egli è nello stesso tempo uno dei più intrepidi marini e dei più abili osservatori che abbian navigato in quei mari pericolosi.

I ghiacci che incontransi sulle coste dello Spitzberg e del Groenland hanno ordinariamente la grossezza di 20 in 25 piedi; essi forman talvolta delle immense pianure i cui confini non si veggono neppur dalle sommità degli alberi delle nave; questi diconsi *campi di ghiaccio*: la loro estensione può esser giudicata di tre o quattrocento leghe quadrate. Un campo di ghiaccio presenta alcune volte una superficie perfettamente piana, sulla quale una carrozza potrebbe fare 30 a 40 leghe senza ostacolo. Talvolta è scabra ed ineguale, in modo che di quando in quando sorgon delle prominenze o colonne di 20 in 30 piedi di altezza le quali formano un aspetto pittoresco: esse compariscono talvolta del bel colore turchino verdastro dei più brillanti topazi; e spesso, coperte di neve, presentano sulle cime e nei contorni svariatissimi accidenti.

(1) Pare che si dovesse anche tener conto del diverso potere emissivo dell' acqua per rispetto alla terra.

Le ondulazioni dell' acqua, il moto delle onde o qualche altra potente cagione infrangono in un attimo un campo di ghiaccio e lo riducono in frammenti di 100 a 200 metri. Questi frammenti separati si urtano e si sperdono, ma spesso son trasportati da una rapida corrente; se essi allora incontrano una corrente opposta che mena enormi frammenti di un altro campo di ghiaccio, queste montagne si urteranno con orribile fracasso. Una nave che si trovasse menata in mezzo, non presenterebbe maggior resistenza all' urto, di quello che una lamina di vetro ad una palla di archibugio presentar potrebbe. Non son rari gli esempi di lagrimevoli naufragi cagionati da tale irresistibile possanza. Mercè di queste maniere di correnti il mare si apre ai naviganti; imperciocchè quando esse hanno sgombrati i ghiacci, allora si può, seguendo alcune direzioni, cacciarsi fino ai paralleli di 70 in 80°, ove par che le balene abbiano in preferenza la loro sede.

Se alcuni monti di ghiaccio son rotti e quasi polverizzati in questi terribili scontri, ve ne ha degli altri al contrario i quali prendono per questo un nuovo aumento e più terribili diventano. I ghiacci innalzati dai flutti ricadon gli uni sugli altri, si soprappongono, si coprono di frammenti più o men voluminosi, e compongono così delle vere montagne in mille guise svariate, le quali s' innalzano per 10 in 15 metri al di sopra delle acque: generalmente la parte che emerge sta alla sommersa come 1 a 4; e però lo totale altezza di queste montagne è di 40 in 60 metri.

Accade sovente che ghiacci di 30 in 40 metri di lunghezza, caricati a' loro due estremi, discendono a tale profondità da potervi per sopra passare la nave; ma l' equipaggio è allora esposto a pericolo grandissimo: il minimo urto, la più lieve cagione, può romper l' equilibrio dei pesi che tengono il ghiaccio sommerso; allora questo monterà con impeto, lancerà il vascello nell' aria, o per lo meno lo farà sicuramente capovolgere.

Nella baja di Baffin trovansi monti di ghiaccio molto più alti che nei mari della Groenlandia: i naviganti han veduto che essi elevànsi per più di 30 in 50 metri al di sopra della superficie delle acque, e però che aveano più di 200 metri di altezza totale. Si suppone che queste spaventevoli masse si generino sulle coste ove forman le valli che terminano al mare, e che indi sian distaccate o per la pressione delle acque o per qualche altra cagione. E per fermo in tutte quelle spiagge veggonsi sulle coste monti di ghiaccio di un bel colore turchino trasparente come l' azzurro del cielo, tagliati perpendicolarmente, i quali s' innalzano a maravigliosa altezza. Nella *stagione del sole* le acque scorron dall' alto delle loro cime e generano nel mare delle grandi cascate le quali sono talvolta arrestate dai geli. Comparisce allora un magnifico spettacolo che i naviganti guardano da lungi; imperciocchè in un momento quelle colonne, quegli archi giganteschi sospesi nell' aria, con orribil rumore si rompono e ruinano nel mare.

Le acque non son profondissime nei luoghi vicini alla costa occidentale dello Spitzberg. Spesso le balene ne danno la misura in modo sicuro: in quello che esse son colpite dal fiocinere, discendon giù verticalmente nelle acque con indicibile velocità, portando seco la fiocina e la lenza; ma esse ritornano tosto alla superficie a spirar l' ultimo fiato, e quando vengono imbrattate della melma del fondo del mare, si può esser certo che la lunghezza della lenza che han trasportata è la giusta misura della profondità, la quale trovasi di circa 1000 in 1200 metri.

Verso il mezzo dell' intervallo che passa tra lo Zpitzberg e la costa orientale della Groenlandia, fino a 2500 metri non si è trovato fondo.

Il capitano Scoresbey ha veduto spesso il ghiaccio formarsi in alto mare alla distanza di 20 leghe dal lido. Tostochè i primi ghiacciuoli cominciano a diventar visibili, il mare si calma come se si fosse versato l' olio alla sua superficie; i cristalli giungon rapidamente alla grossezza di 3 in 4 pollici, ed allora cominciano a radunarsi per formare, se il freddo continua, de' pezzi più o meno lunghi i quali non tardano ad aver la grossezza di 2 o 3 decimetri.

In questi luoghi la densità dell' acqua del mare è 1,036; essa quando è tranquilla si gela a — 2°. Le acque concentrate posson giungere ad una densità di 1,104; allora esse si congelano a — 10°, e pure si sa che l' acqua saturata di sale non può consolidarsi se non a — 15°.

Il freddo delle regioni polari ha delle necessarie attinenze con la estensione e con la profondità delle acque. Immaginiamo per esempio un mare libero e profondo, senza isole o sollevamenti nel fondo, il quale occupi tutto il segemento de' cerchi polari e che per ampî canali sia messo in comunicazione coi mari equatoriali: egli è chiaro che le correnti superiori ed inferiori tenderebbero a mantenere l' equilibrio di temperatura con maggiore efficacia. Ma se in mezzo

a quest' ampio mare supporremo delle isole o semplicemente dei sollevamenti del fondo, il raffreddamento generato per irraggiamento durante la lunga assenza del sole diventa necessariamente più intenso, perchè si compie sopra una superficie solida la quale non si rinnova: l'aria a sua posta raffreddasi sopra quelle pianure di gelo, e si generano così quei rigidi freddi che dominano verso il polo boreale.

Il curioso viaggio del capitano Weddel verso il polo australe, par che ci assicuri che in quelle regioni il mare sia molto più ampio e profondo di quello delle regioni boreali; e che anche la temperatura vi sia molto più dolce. Appena passata la latitudine delle Nuove Orcadi e delle Nuove Schetland, le quali formano una barriera di ghiacci, si giunge in un mare libero che sembra distendersi fino al polo. Nuovi viaggi potranno darci di certo nuovi dati sulla temperatura di questi climi, e la teoria della distribuzione del calorico ne riceverà sicuramente un perfezionamento grandissimo.

515. *Equilibrio di temperatura della terra.* — Avendo esposto i principali risultamenti dell' esperienza sulla temperatura del globo terrestre e dell'atmosfera che lo circonda, ci rimane a indicare, per quanto possiamo in quest' opera, le principali cagioni che concorrono a mantenere in tutta l' estensione della terra la distibuzione del calorico e l' ordine delle temperature che vi si osserva.

Supponghiamo per un momento che la terra librata com' è nel mezzo degli spazi celesti, non sia più riscaldata dai raggi solari o da altri raggi calorifici, e vediamo i fenomeni che ne deriverebbero. Tutte le molecole di aria atmosferica, dotate come tutte le altre molecole materiali di potere emissivo, irragerebbero il loro calorico per ogni verso e si raffredderebbero sempre più, non essendo le perdite in alcun modo riparate; la densità venendo per questo a crescere, esse cadrebbero verso la terra, nell' atto che altre molecole monterebber su per andarsi a lor posta a raffreddare, e se si supponesse che la superficie della terra non potesse lor comunicare il calorico che le resta, egli è chiaro che dopo un tempo più o men luogo tutte le falde atmosferiche giungerebbero ad un grado di raffreddamento di cui non abbiamo alcuna idea. Un simile fenomeno si genererebbe sulla terra: gli strati della superficie irraggerebbero attraverso dell' atmosfera, e raffreddati così prontamente per perdite non compensate, riceverebbero il calorico dagli strati interni, e questo sarebbe nello stesso modo dissipato. Laonde dopo qualche tempo, o forse meglio dopo alcuni secoli, tutto il calorico del globo terrestre, tanto il centrale primitivo quanto il superficiale mantenuto dal sole, andrebbe perduto nello spazio; ma questa dispersione sarebbe più o meno rapida nelle varie contrade, secondo che il suolo si troverebbe più o meno dotato di facoltà radiante, e più o meno perfetta fosse la conducibilità degli strati interni.

Quel che accadrebbe nell' ipotesi che l' atmosfera e la terra non si partecipassero il lor calorico, accadrebbe del pari ammettendo questa comunicazione che solo per ipotesi può togliersi: imperciocchè l' aria potrà riscaldare il suolo, e questo quella, ma in ultimo risultamento il calorico totale non sarà per questo impedito a diffondersi negli spazi celesti.

Tutto sulla terra giungerebbe al *freddo assoluto*.

Poniamo ora le cose com' esse sono: facciamo anche per poco astrazione da' raggi solari che giungono sulla terra, ma consideriamo gli astri infiniti che occupano le diverse regioni del cielo. Si ha tutta la ragion di credere che questi astri così copiosi di luce non sian poi privi di calorico: v' ha dunque probabilmente una certa temperatura negli spazi celesti, e però il globo terrestre, librato in mezzo a questi e circondato da inviluppo diatermano ch' è l' atmosfera, cesserebbe di raffreddarsi dopo essersi composto in equilibrio, secondo il teorema innanzi dimostrato.

Laonde supponendo nulla l' azione del calorico solare, il globo terrestre conserverebbe un certo grado di calorico il quale ha certamente una grande efficacia sulla temperatura dei poli. Fermato questo primo punto, è chiaro che l' azione calorifica del sole si fa sentire anch' essa con le sue intermittenze del giorno e della notte, e con le sue variazioni d' intensione che variano dall' equatore al polo, secondo i periodi delle stagioni. Per la qual cosa l' ordine e la intensione delle temperature terrestri sono un effetto composto di due cagioni che operano continuamente: il calorico dello spazio che è quasi uniforme intorno alla terra, e quello del sole che varia in ogni momento. Determinare il potere di ciascuna di queste cagioni, è appunto la quistione fondamentale che la scienza deesi proporre. Prima di dare qui un' idea dell' esperienze che ho fatto per risolverla, è importante indicare gli effetti dell' irraggiamento notturno scoperti dal Wells.

Dopo il tramonto del sole, quando l'aria è tranquilla ed il cielo è sereno, la superficie della terra e l' atmosfera, pel loro irraggiamento nello spazio, il cui calorico non è sufficiente a

mantenere la temperatura che hanno acquistata, si raffreddano: nello stesso tempo i corpi solidi si raffreddano più dell' aria perchè hanno maggior potere emissivo, ed il signor Wells ha conosciuto che questi arrivano in brevissimo tempo ad una temperatura che può essere di 8, 10 o 12° più bassa della temperatura dell' aria: ma la stessa cagione di tale raffreddamento fa conoscere che esso deve variare da un corpo all' altro, essendo maggiore in quelli che hanno un maggior potere emissivo ed una minore conducibilità, purchè si trovino disposti in modo che guardino una più vasta estensione del cielo.

La presenza delle nubi è di ostacolo alla generazione di questo effetto, o almeno lo indebolisce moltissimo, imperocchè allora si ha uno scambio tra i corpi terrestri e le nubi la cui temperatura è molto più elevata di quella dello spazio.

Il vento anche lo impedisce, imperocchè i corpi raffreddati per irraggiamento son riscaldati dal contatto dell' aria che continuamente si rinnova.

Per la qual cosa dal tramonto fino allo spuntar del sole, quando le circostanze sono favorevoli (aria tranquilla, cielo sereno), tutti i corpi della terra trovansi generalmente più freddi dell' aria: in alcuni la differenza è piccolissima, in altri può giungere a 10 o 15°, il che deriva dal potere emissivo, dalla conducibilità, dalla estensione del cielo che i corpi guardano, e dalla facilità con la quale l' aria si può rinnovare sulla superficie dei medesimi.

Per gli effetti dell'irraggiamento notturno, nel capitolo seguente renderemo ragione dei fenomeni della rugiada, della brina e della gelata; ma essi ci giovano anche a risolvere le due importanti quistioni sulle quali dobbiamo versarci, cioè della determinazione del calorico solare e della temperatura dello spazio. Mi duole pertanto di non poter trattare queste quistioni con quella estensione che meritano, potendo appena in quest'opera discorrerne per sommi capi; e però mi veggo costretto ad inviare il lettore alla mia memoria ed all'estratto che ne fu pubblicato nei Conti Resi dell'Accademia delle Scienze (luglio 1838).

Quantità di calorico dato dal sole.—Con due diversi strumenti sonomi ingegnato a determinare la quantità del calorico solare, col *pirelìometro* diretto cioè, o col *pireliometro* a lente.

Il *pireliometro diretto* è rappresentato nella figura 375. Il vase *v* è sottilissimo, ed è di argento o di rame argentato (*plaqué*): esso ha un decimetro di diametro, e 14 o 15 millimetri di altezza; contiene circa 100 grammi di acqua. Il turacciolo per cui si fissa il termometro al vase si adatta ad un tubo di metallo sostenuto verso gli estremi da due ghiere *e*,*e'* nelle quali può liberamente muoversi, in guisa che voltando il bottone *b*, tutto lo strumento gira intorno all' asse del termometro, e l' acqua del vase è continuamente agitata affinchè la temperatura sia uniforme in tutta la massa. Il cerchio *d* che riceve l' ombra del vase è ordinato ad *orientare* lo strumento. La superficie del vase che riceve l' azione è diligentemente annerita col nerofumo.

L' esperienza si fa nel modo che segue: l' acqua del vase essendo quasi alla temperatura dell' ambiente, il pireliometro si tiene all' ombra, ma vicinissimo al luogo in cui deve ricevere l' azione dei raggi solari; si dispone in modo che guardi la stessa estensione del cielo, ed ivi, per quattro minuti, si nota di minuto in minuto il suo riscaldamento o il suo raffreddamento; nel minuto seguente si pone dietro di un corpo opaco, e si dispone in modo che togliendo il detto corpo alla fine di questo minuto, che viene ad essere il quinto, i raggi solari lo colpiscano perpendicolarmente. Allora per cinque minuti si nota sotto l' azione del sole, per ogni minuto, il riscaldamento che rapidamente si avanza, e si bada a tener l' acqua perennemente agitata; alla fine del quinto minuto lo strumento si fa nuovamente coprire dall' ombra del corpo opaco, poi si riduce nella giacitura di prima, e per cinque altri minuti se ne osserva il raffreddamento.

Sia g il riscaldamento provato pe' cinque minuti dell' azione solare, r ed r' i raffreddamenti provati ne' cinque minuti precedenti quest' azione e negli altri cinque posteriori; è agevole l'intendere che l'elevazione di temperatura t generata dal calorico del sole è:

$$t=g+\frac{(r+r')}{2}.$$

Sia d il diametro del vase espresso in centimetri; p il peso dell' acqua in esso contenuta espresso in grammi; p' il peso del vase e della porzione del termometro in esso immersa, questo peso essendo ridotto a quel che sarebbe per un calorico specifico eguale all' unità: s' intende che l' elevazione di temperatura osservata t corrisponde ad una quantità di calorico $t\ (p+p')$.

Questo calorico essendo caduto in cinque minuti sopra una superficie $\frac{\pi d^2}{4}$, ogni unità

di superficie avrà ricevuto $\frac{4(p+p')}{\pi d^2}t$ in tempo di cinque minuti, e $\frac{4(p+p')}{5\pi d^2}t$ in 1'.

Nel mio strumento questa quantità di calorico ricevuta da ogni centimetro quadrato in 1' di tempo è di 0,2624 t.

Il *pireliometro a lente* (*fig.* 376) è composto da una lente l di 24 in 25 centimetri di diametro e di 60 in 70 centimetri di distanza focale; nel fuoco di questa trovasi un vaso di argento o di rame inargentato a contenente circa 600 grammi di acqua; la forma del vase e la disposizione della lente sono ordinate in modo, che per tutte le altezze del sole i raggi cadano perpendicolarmente sulla lente e sulla faccia del vase destinata a riceverli nel fuoco ed assorbirli.

L'esperienze si fanno come per l'altro strumento innanzi descritto, e le quantità di calorico che cadono in un minuto sopra ogni centimetro quadrato si determinano mercè una formola simile; se non che vi ha una correzione di più a fare per lo calorico assorbito dalla lente, e questa correzione si fa paragonando i risultamenti ottenuti con la lente e con lo strumento diretto. Fra le lenti che ho saggiate, quella che assorbe meno pur giunge ad assorbire $\frac{1}{8}$ del calorico incidente.

È necessario adoperare il pireliometro a lente quando non si possono fare l'esperienze in un'aria tranquilla; quando il vento non è molto forte, in cinque minuti non può avere sensibile efficacia di raffreddare una massa di acqua di 600 grammi elevata appena di 4 o 5 gradi al di sopra della temperatura dell'ambiente, e però la correzione è sempre picciolissima.

La tavola seguente contiene cinque serie di esperienze, le quali danno una sufficiente idea del cammino del pireliometro diretto. L'elevazioni di temperatura osservate stanno nella terza colonna; diremo tra poco come si sono avuti i numeri della seconda e della quarta.

Ore dell' osservazione	Grossezze atmosferiche ossia ε.	Elevazione di temperatura osservata	Elevazione di temperatura calcolata	Differenze
Osservazioni del 28 giugno 1837.				
7or 30' m.	1,860	3°,89	3°,69	+0,11
10or 20' m.	1,164	4,00	4,62	—0,62
Mezzodì	1,107	4,70	4,70	0,
1or	1,132	4,65	4,67	—0,02
2	1,216	4,60	4,54	+0,06
3	1,370	»	4,32	»
4	1,648	4,00	3,95	+0,05
5	2,151	»	3,36	»
6	3,165	2,40	2,42	—0,02
Osservazioni del 27 luglio 1837.				
Mezzodì	1,147	4,90	4,90	0,
1or	1,174	4,85	4,86	—0,01
2	1,266	4,75	4,74	+0,01
3	1,444	4,50	4,51	—0,01
4	1,764	4,10	4,13	—0,03
5	2,174	3,50	3,49	+0,01
6	3,702	3,35	3,42	—0,07

Ore dell' osservazione	Grossezze atmosferiche ossia ε.	Elevazione di temperatura osservata	Elevazione di temperatura calcolata	Differenze
Osservazioni del 22 settembre 1837.				
Mezzodì	1,507	4,60	4,60	0,
1ᵒʳ	1,559	4,50	4,54	—0,04
2	1,723	4,30	4,36	—0,06
3	2,102	4,00	3,97	+0,03
4	2,898	3,10	3,24	—0,14
5	4,992	»	1,91	»
Osservazioni del 4 maggio 1838.				
Mezzodì	1,191	4,80	4,80	0,
1ᵒʳ	1,223	4,70	4,76	—0,06
2	1,325	4,60	4,62	—0,02
3	1,529	4,30	4,36	—0,06
4	1,912	3,90	3,92	—0,02
5	2,603	3,20	3,22	—0,02
6	4,311	1,95	1,94	+0,01
Osservazioni dell' 11 maggio 1838.				
11ᵒʳ	1,193	5,05	5,06	—0,01
12	1,164	5,10	5,10	0,
1	1,193	5,05	5,06	—0,01
2	1,258	4,85	4,95	—0,10
3	1,473	4,70	4,73	—0,03
4	1,812	4,20	4,37	—0,17
5	2,465	3,65	3,67	—0,02
6	3,943	2,70	2,64	+0,06

Avendo fatto per parecchi anni molte serie di osservazioni simili alle antecedenti, ho procurato di trovare una legge che potesse con bastante giustezza esprimere tutti i risultamenti delle osservazioni. Per la qual cosa prima ho calcolate le grossezze atmosferiche che i raggi solari doveano attraversare in ogni esperienza; cotesto grossezze ε son date dalla formola:

$$\varepsilon = \sqrt{2rh + h^2 + r^2 \cos^2 z} - r\cos z$$

dove r è il raggio medio della terra, h l'altezza dell'atmosfera, z la distanza zenitale del sole; ho posto $h=1$, $r=80$.

Invece di determinare la distanza zenitale z osservando ogni volta l'altezza del sole, mi è piaciuto meglio prendere l'ora precisa del punto medio dell'esperienza, e ricavarne il valore z mercè la formola

$$\cos z = \operatorname{sen} \upsilon \operatorname{sen} d + \cos \upsilon \cos d \cos y.$$

υ è la latitudine del luogo dell'osservazione. d la declinazione del sole a mezzogiorno, y l'angolo orario del sole corrispondente all'ora dell'esperienza.

Mercè queste due formole ho calcolato le grossezze atmosferiche registrate nella seconda colonna della tavola antecedente.

Paragonando le elevazioni di temperatura

osservata col pireliometro, e le corrispondenti grossezze atmosferiche, ho veduto che i risultamenti potevano benissimo essere rappresentati dalla formola $t=ap^{\varepsilon}$ dove a e p son costanti. Determinando queste costanti con due serie di osservazioni, si ricade sempre sullo stesso valore di a per tutte le serie, ma si trovano i valori di p molto diversi passando da una serie all'altra. Laonde a è una costante fissa indipendente dallo stato dell'atmosfera, e p una costante che è fissa solo per lo stesso giorno, ma che varia da un giorno all'altro, secondo che la serenità del cielo è più o meno perfetta: a dunque rappresenta nella formola la *costante solare*, ovvero quella che contiene come elemento essenziale la costante potenza calorifica del sole; nell'atto che p è la *costante atmosferica*, ovvero quella che contiene come elemento essenziale il variabile potere trasmissivo di cui trovasi dotata l'atmosfera, per far giungere fino alla superficie della terra più o meno grandi porzioni del calorico solare incidente.

L'esperienze danno per a il valore di 6°, 72, e per p i valori contenuti nella seguente tabella:

Giorni delle serie	Valori di p	Valori di $1-p$
28 giugno . . .	0,7244 . .	0,2756
27 luglio. . . .	0,7585 . .	0,2415
22 settembre . .	0,7780 . .	0,2220
4 maggio . . .	0,7556 . .	0,2444
11 maggio . . .	0,7888 . .	0,2112
Solstizio invernale	0,7488 . .	0,2512

Con questi valori di a e di p e con la formola $t=ap^{\varepsilon}$, io ho calcolati i risultamenti contenuti nella quarta colonna della tavola antecedente; onde si vede con quanta giustezza trovansi per tal modo riprodotti tutti i numeri ch'eransi avuti dall'osservazione, anche quando l'osservazione corrisponde a grossezze atmosferiche che son quadruple per effetto dell'obbliquità. Così nell'esperienza del 4 maggio, i raggi solari a mezzogiorno dovevano attraversare una grossezza atmosferica di 24 leghe, ed alle 6 della sera ne dovevano attraversare una di 86, e pure i numeri calcolati vanno tuttavia in perfetto accordo con quelli dell'osservazione. Intendesi per altro che solo quando il tempo è perfettamente costante, la formola va bene applicata per l'intero giorno con lo stesso valore di p: se qualche improvviso cambiamento accade nello stato dell'atmosfera, il valore di p tosto patisce una più o meno grande alterazione. Di ciò ho potuto rendermi certo per molte esperienze fatte in tutte le stagioni dell'anno. Si può anche presumere che in certi luoghi, specialmente nei montuosi ed in quei vicini al mare, i valori di p patiscano in ogni giorno periodiche variazioni corrispondenti alla diffusione ed al condensamento dei vapori.

Se nella formola antecedente pongasi $p=1$; ovvero $\varepsilon=0$, si troverà $t=6°, 72$; il pireliometro cioè prenderebbe un'elevazione di 6°, 72 se l'atmosfera potesse trasmettere per intero il calorico solare senza punto assorbirne, ovvero se lo strumento potesse essere trasportato fuori dell'atmosfera per ivi ricevere senza alcuna perdita tutto il calorico che il sole ci invia. Questo valore di t moltiplicato per 0,2624 dà 1,7633.

Questa è dunque la quantità di calorico che il sole in un minuto di tempo spande sopra un centimetro quadrato ai limiti dell'atmosfera, e che spanderebbe del pari sulla superficie della terra se l'atmosfera non assorbisse alcun raggio incidente.

Gli antecedenti valori di p dinotano le porzioni di calorico solare che sono state trasmesse nei corrispondenti giorni, ed i valori di $1-p$ per l'opposto dinotano le varie porzioni di calorico solare che sono state assorbite negli stessi giorni. Questi valori per altro corrispondono ad $\varepsilon=1$, dinotano cioè le porzioni di calorico solare che sarebbero state trasmesse o assorbite nei luoghi che avevano il sole allo zenit, supponendo che nel tempo dell'esperienza lo stato dell'atmosfera non fosse stato diverso da quello di Parigi. D'onde segue che nel cammino verticale l'atmosfera assorbe almeno $\frac{21}{100}$ o al più $\frac{27}{100}$ dal calorico incidente senza che il cielo cessi di essere sereno; debbo inoltre aggiungere che nel 28 giugno, cui corrisponde l'assorbimento di $\frac{27}{100}$, il cielo vedevasi coperto di un leggiero vèlo bianco. Altre osservazioni poi per le quali le serie non han potuto essere compiute, mi han dato un assorbimento di $\frac{18}{100}$. Onde si può dire che l'assorbimento atmosferico è compreso tra 18 e 24 o 25 centesimi, senza che si possan distinguere nel cielo i vapori che ne turbano la trasparenza.

Con questo dato e con la legge secondo la quale va scemando il calorico trasmesso in ragion che cresce l'obbliquità, si può calcolare la porzione di calorico incidente che in ogni momento arriva sull'emisfero illuminato della

terra, e quella che viene assorbita dalla corrispondente metà dell'atmosfera. Ed il calcolo dimostra che per $p=0,75$ la porzione che giunge al suolo resta compresa tra 0,5 e 0,6; e quindi la porzione assorbita dall'atmosfera trovasi compresa tra 0.5 e 0,4 ma molto vicino a 0,4.

Laonde anche quando l'atmosfera ha tutta l'apparenza di una perfetta serenità, pure assorbe quasi la metà del calorico che il sole spande verso la terra, e solo l'altra metà ne arriva sulla superficie, ma diversamente ripartita, secondo che attraversa l'atmosfera con maggiore o minore obbliquità.

Conoscendo la quantità di calorico che il sole in un minuto di tempo perpendicolarmente spande sulla terra per ogni centimetro quadrato, è facile il determinare la quantità totale di calorico che l'intero globo terraqueo insieme con l'atmosfera in ogni minuto ricevono. E per fermo, questa quantità di calorico è quella stessa che cadrebbe sul cerchio d'illuminazione, se l'emisfero terrestre illuminato e riscaldato dal sole fosse tolto.

Or la superficie di questo cerchio essendo πr^2, la totale quantità di calorico sarà

$$1,7633\pi r^2 .$$

Se questo calorico fosse uniformemente diffuso su tutti i punti della terra, ogni centimetro quadrato ne riceverebbe $\dfrac{1,7633.\pi r^2}{4\pi r^2}$ ovvero 0,4408.

Dopo ciò è facile l'intendere che per un anno la quantità di calorico che la terra riceve dal sole è la stessa che se in quest'intervallo n'entrassero per ogni centimetro quadrato della superficie che termina l'atmosfera 231675 unità.

Trasformando questa quantità di calorico in quantità di ghiaccio liquefatto, si perviene al risultamento che segue.

Se tutta la quantità di calorico che la terra in un anno riceve dal sole, fosse uniformemente ripartita sulla intera superficie del globo, e tutta fosse adoperata a fondere ghiaccio, potrebbe fonderne una falda che coprisse tutto il globo fino all'altezza di 30^m, 89, ossia quasi 31 metri. Questa è la più semplice espressione della totale quantità di calorico che la terra in ogni anno riceve dal sole.

Lo stesso dato fondamentale ci permette di risolvere un'altra quistione, la quale forse sembrerà più temeraria, e pure la sua soluzione è egualmente semplice: possiamo cioè trovare l'intera quantità di calorico che in un dato tempo è emessa da tutto il globo del sole, supponendo soltanto che da eguali porzioni della superficie solare vengan fuori eguali quantità di calorico; il che pare finora dalla esperienza fermato, imperciocchè le varie facce che il sole per la sua rotazione ci presenta pare che non abbiano alcuna spiccata efficacia sulle temperature terrestri.

Consideriamo il centro del sole come il centro di un recipiente sferico il cui raggio sia eguale alla media distanza del sole dalla terra: egli è chiaro che sopra ciascun centimetro quadrato dell'ampia superficie di questo recinto il sole diffonde in un minuto tanto calorico per quanto ne spande sopra ciascun centimetro quadrato della superficie della terra, cioè 1,7633, e però tutto il calorico che questa superficie riceve è eguale al numero dei suoi centimetri quadrati moltiplicato per 1,7633, ovvero uguale a $1.7633.\,4\pi d^2$.

Questo calorico incidente altro non è se non che la somma totale delle quantità di calorico emesso per ogni verso dall'intero globo del sole, cioè da una superficie di $4\pi r^2$, dinotando con r il raggio del sole. Onde da ogni centimetro quadrato vien fuori la quantità di calorico espressa da $1,7633.\dfrac{d^2}{r^2}$, ovvero $\dfrac{1,7633}{sen^2\omega}$ dinotando con ω la metà dell'angolo visuale sotto di cui il sole è veduto dalla terra, ch'è di 15' 40''; il che dà 84888. Per la qual cosa ogni centimetro quadrato della superficie solare emette in un minuto 84888 unità di calorico.

Trasformando questo calorico in quantità di ghiaccio fuso, si giugne al risultamento che segue:

Se tutto il calorico messo fuori dal sole si adoperasse esclusivamente a fondere ghiaccio, ne fonderebbe in un minuto una falda grossa 11^m, 80 applicata su tutto il globo solare, ed in un giorno ne fonderebbe una falda di $16,992^m$ ossia di 4 leghe ed $\frac{1}{4}$.

Questa misura, siccome si è potuto vedere, non si adagia sopra veruna ipotesi: essa è indipendente dalla natura propria del sole, dalla materia ond'è composto, dal suo potere raggiante, dalla sua temperatura e dal suo calorico specifico; essa deriva solo immediatamente dai principi meglio fermati per rispetto al calorico raggiante e dal numero che per esperienza abbiamo trovato.

Temperatura dello spazio. — Un termometro esposto alle irradiazioni notturne sulla superficie della terra, riceve calorico da due sorgenti, dallo spazio cioè e dall'atmosfera. Il

calorico dello spazio essendo del pari che quello del sole soggetto ad essere assorbito, solo 3 o 4 decimi ne potranno arrivare al termometro, almeno supponendo che l'esperienza non si faccia sulle alte montagne. Il calorico poi emesso dall' atmosfera, durante la notte è l'effetto dell' irraggiamento di tutte le falde concentriche che considerar si possono dal livello del mare sino ai limiti dell' atmosfera, e deriva in conseguenza dalla distribuzione delle temperature in tutta l' altezza dell' atmosfera; e possiamo aggiungere che la efficacia è più grande di quello che si è finora supposto. Sia del rimanente quale si voglia la ragione delle intensioni di queste due cause, è chiaro potersi immaginare una sola cagione atta a produrre un effetto eguale a quello che risulta dalle loro azioni riunite ; o in altri termini si può fare astrazione dal calorico dello spazio e da quello dell' atmosfera, ed immaginare un recipiente a massimo potere emissivo, la cui temperatura sia tale da inviare al termometro, ed al suolo precisamente altrettanto calorico per quanto ne ricevono dall' atmosfera e dallo spazio : ed io chiamo *temperatura zenitale* la incognita temperatura di questo *recinto zenitale*.

Questa maniera di considerare i fenomeni non ha per obbietto di rappresentare le azioni particolari e forse ineguali che il termometro soffre in tale o tale altra direzione, ma solo di esprimere con precisione l' azione diffinitiva e totale cui è soggetto, in modo che il suo abbassamento al di sotto della temperatura dell' ambiente si trova lo stesso tanto nel recinto zenitale quanto esposto alla temperatura dello spazio e dell' atmosfera. Con questa condizione possiamo dare al recinto zenitale una egual temperatura in tutta la sua estensione. È chiaro finalmente che la temperatura zenitale deve necessariamente variare da un tempo all' altro per lo stesso punto della superficie della terra, e con maggior ragione da un punto all' altro, imperocchè essa deriva da un elemento fisso chè è la temperatura dello spazio, e da un altro continuamente vario che è la temperatura delle diverse falde atmosferiche.

Vediamo ora come si può in ogni momento della notte osservare la temperatura zenitale, quasi nello stesso modo che osservasi quella dell' aria.

Il mio strumento, che lo chiamo *actinometro*, è rappresentato nella figura 377 : esso è composto di 4 anelli di due decimetri di diametro, guerniti di peluria di cigno, ed appoggiati l' uno sull' altro affinchè la caluggine non resti compressa ; la pelle di cigno stessa fa il fondo del cerchio di ciascuno di questi anelli. Questo sistema è chiuso in un primo cilindro di rame inargentato *c*, circondato anche di pelle di cigno e posto in un altro cilindro più grande *c'*. Un termometro sta appoggiato nel centro della peluria superiore; l' orlo *d* ha una altezza tale che il termometro possa solo guardare i due terzi dell' emisferio celeste, questo orlo ha un buco al livello della caluggine, affinchè l' aria fredda possa scorrere regolarmente.

Questo strumento resta esposto durante la notte all' irraggiamento del cielo, e di ora in ora si osserva il suo termometro ed un altro termometro vicino liberamente sospeso nell' aria all' altezza di mezzo metro dal suolo: dalla differenza di queste temperature o dall' abbassamento dell' actinometro, si ricava la temperatura zenitale; ma per questo è mestieri che lo strumento abbia ricevuta una graduazione di cui faremo a discorrere.

Se l' actinometro avesse una superficie indefinita e si trovasse nel vuoto, in uno spazio terminato ad emisferio e tenuto ad una temperatura costante, è chiaro che lo strumento prenderebbe la stessa temperatura dello spazio anzidetto ; con la sua vera forma, per contrario, guardando solo i due terzi dell' emisferio, e circondato da una falda d' aria che lo riscalda, deve sempre restare ad una temperatura più alta di quella dello spazio. La graduazione ha per obbietto di determinare di quanto esso è riscaldato, in modo che basta conoscere la sua temperatura e quella dell' aria circostante per dedurne quella del recinto, col quale v' ha scambio di calorico raggiante. E per fermo, intendesi che deve esservi una ragione semplice tra la temperatura del recinto e l' abbassamento dell' actinometro. Per iscoprire questa ragione ho composto un cielo artificiale con un vase di zinco di un metro di diametro, sostenuto all' altezza di due metri da tre sottili colonne; questo vase di fondo annerito fu pieno di un mescuglio refrigerante a $-20°$; e l' actinometro fu posto verticalmente al di sotto, a tali distanze che il termometro centrale vedeva successivamente $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ d' emisfero ; in ciascuna giacitura si è posto mente all' equilibrio di temperatura, e si è notata in pari tempo la temperatura dell' aria circostante e quella dello strumento. Simili esperienze ripetute alla temperatura del ghiaccio in fusione e ad altre temperature intermedie, mi han condotto al risultamento che segue : se dalla temperatura dell' ambiente si sottraggono $\frac{9}{4}$ dell' abbassa-

mento dell' actinometro, si trova sempre la temperatura del cielo artificiale. Questo risultamento si applica alla volta celeste, o piuttosto al recinto zenitale; e però se durante la notte si osservi la temperatura t dell'aria e l' abbassamento d dell' actinometro, se ne inferirà la temperatura zenitale mercè la formola

$$z=t-9\frac{d}{4},$$

la quale è il risultamento della graduazione.

La tavola seguente contiene i risultamenti di alcune di queste sperienze.

Tavola delle temperature medie dell' atmosfera corrispondenti alle osservazioni dell' actinometro fatte ne' mesi di aprile, maggio e giugno.

Giorni	Ore	Temperature dell' aria	Temperature dell' actinometro	Differenze	Temperatura zenitale	Temperatura media dell' atmosfera
			Dal 10 all' 11 aprile.			
10 aprile	7or sera	10,2	3,9	6,3	— 4,0	—23,5
	8	9 9	3,0	6,9	— 5,6	—25,5
	9	9,6	2,2	7,4	— 7,0	—27,0
	10	9,0	1,8	7,2	— 7,2	—27,5
11	5 mat.	5,0	—3,0	8,0	—13,0	—35
	5,30'	5,0	—3,0	8,0	—13,0	—35
	6	5,5	—2,3	7,8	—12,0	—34
			Dal 14 al 15 aprile.			
14 aprile	7or sera	8,5	0,8	7,7	— 6,0	—26
	8	7,0	—0,5	7,5	— 9,9	—30,0
	9	5,8	—1,6	7,4	—10,8	—32
	10	5,0	—2,4	7,4	—11,6	—35,5
15	4,30' mat.	1,0	—6,0	7,0	—14,7	—37,5
	5	1,0	—6,0	7,0	—14,7	—37,5
	6	1,6	—5,2	6,8	—13,7	—36,0
			Dal 20 al 21 aprile.			
20 aprile	8or sera	5,6	—0,8	6,4	— 8,8	—29,5
	9	4,5	—2,0	6,5	—10,1	—31,5
	10	3,6	—3,0	6,6	—11,1	—33,5
21	4,30' mat.	0,0	—7,0	7,0	—15,7	—38,5
	5	0,0	—7,0	7,0	—15,7	—38,5
	5,30'	0,1	—6,5	6,6	—14,5	—37,0

Giorni	Ore	Temperature dell' aria	Temperature dell' actinometro	Differenze	Temperatura zenitale	Temperatura media dell' atmosfera
		Dal 5 al 6 maggio.				
5 maggio	5or sera	25,50	19,9	5,6	+ 12,9	— 2,0
	6	25,10	17,5	7,6	8,0	— 8,0
	7	23,10	15,0	8.1	4.9	— 12,0
	8	22, 9	13.9	9,0	2,6	— 15,0
	9	21, 5	12,5	9,0	1,4	— 16,5
	10	17. 5	10	7,5	0,6	— 17.5
6	4 mat.	12, 1	5	7,1	— 3.9	— 23,5
	4,30	12, 1	5	7,1	— 3,9	— 23.5
	5	12	6	6,0	— 1,5	— 20,0
		Dal 23 al 24 giugno.				
23 giugno	7or sera	20,0	12,0	8,0	+2,0	—16,0
	8	17,0	10,5	7.3	1,4	—16,5
	9	17,6	10,7	6,9	»	»
	10	16,3	9,1	7,1	0,3	—18,0
24	4 mat.	11,3	5.3	6,0	—2,2	—21,0
	4,30	11,5	5,6	5,9	—1,8	—20,5

Queste sperienze dimostrano che la temperatura zenitale si abbassa durante la notte quasi allo stesso modo della temperatura dell' aria : questo progressivo abbassamento dal tramontare allo spuntare del sole è un fatto essenziale che ne guida immediatamente ad una importante conseguenza.

E per fermo, la temperatura zenitale è composta da due elementi che si sommano; l' uno derivante dalla temperatura media t'' della colonna atmosferica ch' è variabile, e l' altro derivante dalla temperatura t' dello spazio la quale è fissa ; imperocchè può dimostrarsi che queste tre temperature z, t'' e t' son tra loro connesse dall' equazione $az=ba''+(1-b')\,a'$, dove a è la costante dell' irraggiamento 1,0077, b il potére assorbente dell' atmosfera per rispetto al calorico terrestre, e b' quello per rispetto al calorico dello spazio. Or poichè la temperatura zenitale patisce in una sola notte notevoli variazioni, è chiaro che il termine costante che entra nella sua espressione debba esser picciolissimo per rispetto al termine variabile, e però che nell' irraggiamento notturno il calorico dello spazio è picciolissimo per rispetto a quello che proviene dall' irraggiamento dell' atmosfera.

Cotesta conseguenza non può in verun modo conciliarsi con le opinioni che assegnano allo spazio una temperatura che non va per molti gradi al di sotto dello zero ; ma essa va perfettamente d'accordo coi fatti conosciuti i quali avrebbero potuto presentare degl'indizl in questo senso se, uniti, fossero stati messi in disamina con tutta l' attenzione che meritavano. I molti risultamenti di Wells e di Daniell, e di tutti gli altri fisici che han fatto sperienze sull' irraggiamento notturno, non solo dimostrano che un termometro collocato sul suolo durante la notte ed in luogo aperto si raffredda per sei, sette o anche otto gradi al di sotto della temperatura dell' ambiente; ma dimostrano eziandio che questo fenomeno si ripro-

duce quasi nella stessa intensione ne' mesi più freddi, in gennaio e febbraio cioè, quando la temperatura dell'aria è discesa per molti gradi al di sotto dello zero. Così Wilson ha osservata una differenza di quasi 9° tra la temperatura dell'aria e quella della superficie della neve; Scoresby ed il capitano Parry hanno osservato simili abbassamenti nelle regioni polari quando la temperatura dell'aria era più di 20° al di sotto dello zero.

Se ora si consideri che il potere riscaldante proveniente dal contatto della falda d'aria sul termometro del suolo il quale è più freddo di essa, è quasi lo stesso, sia che questa si trovi a 10° al di sopra dello zero o a 10° al di sotto, s'intende che il potere di raffreddamento che tiene questo termometro a —18° nel secondo caso, ha anche la stessa energia del potere di raffreddamento che lo tiene a + 2° nel primo; e siccome questo potere di raffreddamento deriva dalla temperatura dello spazio, così ne segue che la temperatura di questo è molto al di sotto di — 18°; imperciocchè se essa fosse solo di — 30° o di — 40°, il termometro che sta a — 18° nell'atto che l'aria sta a — 10° ne sarebbe già troppo vicino, perchè il calorico dello spazio potesse mantenerlo allo stesso abbassamento al di sotto dell'aria di quello del termometro che è a + 2° nell'atto che l'aria sta — 10°. Ciò che forse ha impedito che si facesse questo ravvicinamento, è stato che generalmente nelle spiegazioni che sonosi date dell'irraggiamento notturno si è attribuito alle falde superiori dell'atmosfera, che si sapean freddissime, una particolar virtù di raffredamento, obbliando in certo modo che esse, fredde come sono, mandan calorico, e che questo si unisce a quello dello spazio per aumentarne gli effetti.

I risultamenti che io ho ottenuti con l'actinometro trovansi dunque d'accordo con tutti i fatti conosciuti; egli era forse necessario farlo notare, affinchè se le conseguenze cui arriveremo saranno in alcuni punti per riuscire contrarie alle opinioni ricevute, s'intende che ciò deriva dalla natura delle cose, anzi che dalla poca giustezza delle sperienze.

Altre considerazioni ed altri calcoli rendono aperto che la temperatura t' dello spazio si trova connessa con le costanti b e b' mercè l'equazione

$$a'' = 1{,}235 \frac{2-b}{2-b'} - 0{,}489;$$

e siccome da tutte le sperienze solari si ha $b'=0{,}35$, si arriva finalmente all'equazione

$$a'' = 1{,}008 - 0{,}748.b,$$

la quale non contiene altre incognite fuorchè la temperatura t' dello spazio ed il potere assorbente b dell'atmosfera per rispetto al calorico terrestre.

Il valore più grande di b dà il limite inferiore della temperatura dello spazio: e perchè b non può esser maggiore di 1, la temperatura dello spazio non può essere minore di—175°.

Per $b'=0{,}3$ si troverebbe — 187, e per $b'=0{,}4$ si troverebbe solo — 164.

Trovato una volta questo limite inferiore, è agevole il trovare anche il limite superiore, imperciocchè esso corrisponde al minimo valore possibile di b; or l'esperienze della temperatura zenitale facendo conoscere che b deve essere necessariamente maggiore di 0,8, ne segue che la temperatura dello spazio è minore di — 115°.

Per determinare ora il numero intermedio compreso tra questi limiti, il quale esprime la vera presente temperatura dello spazio, sarà mestieri certamente fare numerosissime sperienze in tutte le latitudini ed in tutte le altezze.

Le sole sperienze che ho potuto fare mi permettono intanto di arrivare ad una certa approssimazione; esse mi danno — 142° per la temperatura dello spazio, e mi avviso che questo valore non sia molto lontano dal vero; esso corrisponde a $b=0{,}9$.

Laonde per ultimo risultamento di queste ricerche si raccoglie, che il sole dà alla terra la quantità di calorico 1,77633 per minuto e per ogni centimetro quadrato; che a ciel sereno l'atmosfera assorbe circa 0,4 di questo calorico e di quello dello spazio, che essa assorbe 0,9 del calorico emesso dalla terra, e che al presente la temperatura dello spazio è di 142°, al di sotto dello zero.

È importantissimo il por mente all'efficacia del vario potere assorbente dell'atmosfera su tutti i fenomeni terrestri, e per conseguenza intendesi la cura che converrà avere per determinarlo con giustezza. Si giungerà senza dubbio ad immaginare per quest'oggetto altri strumenti ed altri metodi di sperimentare, mercè i quali si potrà in ogni momento separare l'efficacia dell'irraggiamento dello spazio da quella dell'irraggiamento atmosferico. Se ora le varie regioni del cielo che passano successivamente per lo zenit pare che ci inviano eguali quantità di calorico, è probabilissimo che ciò derivi dalla imperfezione dei nostri strumenti: noi scorgiamo tale differenza nella natura, nella distanza, nel numero e ne' radunamenti degli astri che trovansi nella immensità dello spazio, e ci è impossibile di supporre che la

porzione del cielo sempre varia che si trova sull' orizzonte rassomigli sempre a quella che trovasi al di sotto; è però impossibile che tutti gli emisferi che considerar possiamo nella volta celeste mandino veramente sulla terra la stessa quantità di calorico. Nella zona equatoriale principalmente è mestieri da prima farsi a cercare queste differenze, perchè ivi sicuramente debbono apparire più grandi, più regolari è più facili ad essere osservate.

Parmi necessario indicare anche alcune delle conseguenze più generali che da cosiffatte ricerche ricavansi.

Tutta la quantità di calorico che in un anno dallo spazio viene alla terra ed all' atmosfera, si ricava da quello che di sopra si è detto; è agevole l'intendere che questa quantità di calorico sarebbe bastante a fondere sul nostro globo una falda di ghiaccio della grossezza di 26 metri. Abbiamo veduto che la quantità del calorico solare è espressa da una falda di ghiaccio di 31 metri. Pe la qual cosa la terra riceve una quantità di calorico rappresentata da una falda di ghiaccio di 57 metri, ed il calorico dello spazio v' interviene per una quantità ch' è $1\frac{5}{6}$ del calorico solare.

Entro i tropici il calorico dello spazio è solo $\frac{4}{3}$ del calorico solare, imperciocchè questo vi si trova rappresentato da una falda di ghiaccio di 39 metri.

Farà certamente maraviglia che lo spazio con la sua temperatura di 142° al di sotto di 0 possa dare alla terra una sì grande quantita di calorico da esser quasi eguale alla quantità media che ne viene dal sole: questi risultamenti sembrano da prima talmente contrari all' opinione che ciascuno porta, tanto intorno al freddo dello spazio quanto sulla efficacia del sole, che sembreranno forse incoerenti. E pure è mestieri osservare che il sole per rispetto alla terra altro non occupa se non se cinque milionesimi della volta celeste, e deve in conseguenza inviare una quantità dugento mila volte maggiore per generare lo stesso effetto.

Considerando, del resto, i fenomeni sotto un altro punto di vista, forse si supporrà, per converso che in queste misure l'efficacia del sole siasi molto esagerata; imperciocchè se si ponga mente alle temperature e non alle quantità di calorico, si giungerà al risultamento che segue:

Cioè che se il sole non facesse sentire la sua azione sul nostro globo, la temperatura del suolo sarebbe da per tutto uniforme ed eguale a — 89°.

Or poichè la temperatura media dell'equatore è di 27°, 5, è forza di concluderne che la presenza del sole accresce la temperatura della zona equatoriale di 116°,5.

La temperatura media dell' atmosfera all' equatore sarebbe similmente di — 148°.

Le formole antecedenti fan vedere che essa è di circa — 10 gradi.

Laonde la presenza discontinua del sole accresce di 139 gradi la temperatura media dell' atmosfera alla zona torrida.

Questa potenza che ha il sole di accrescere le temperature terrestri oltrepassa di gran lunga quella assegnatagli dal Poisson, considerando le variazioni di temperatura a varie profondità al di sotto della superficie terrestre; ma credo che i due metodi darebbero risultamenti più concordi, qualora nelle formole del Poisson si potesse in una maniera più diretta far entrare il notevole potere dell' atmosfera.

Volendo estendere questi calcoli ad altre regioni, è d' uopo tener conto della diminuzione di temperatura del suolo in ragion che cresce la latitudine; ma si può per approssimazione facilmente conoscere che gli effetti del vento concorrono ad elevare la temperatura delle regioni polari, e ad abbassare più o meno quella delle regioni comprese tra i cerchi polari ed i tropici; la temperatura della zona equatoriale stessa pare poco abbassata per questa cagione.

CAPO II.

DELL' ARIA, E DEI VAPORI ATMOSFERICI.

516. *Osservazioni barometriche.* — Le osservazioni barometriche possono guidarci alla soluzione di parecchi importantissimi problemi; ma sarebbe facile lo sviarsi in cosiffatte ricerche, si potrebbero fare molte osservazioni perfettamente giuste e frattanto inutili. È mestieri dunque venire qui additando le principali quistioni che si vogliono risolvere, ed i risultamenti che sonosi avuti finora. Per venire a capo di tutto questo, prenderemo per guida l' eccellente memoria in cui il Bouvard ha discusse con iscrupolosa diligenza tutte le osservazioni barometriche dell' Osservatorio di Parigi.

Ne' nostri climi il barometro si osserva quattro volte al giorno: alle 9 del mattino, a mezzo giorno, alle 3 ed alle 9 della sera.

L' osservazione del mezzodì dà l' altezza

media del giorno, e per conseguenza quella del mese e dell'anno. Le altre tre osservazioni servono a determinare le *variazioni orarie*, o ciò che talvolta dicesi il *periodo barometrico*.

L'altezza media di Parigi dopo lo spazio di 20 anni, dal 1816 al 1836, si trova essere di 756mm; essa si può considerare tanto più approssimativa, in quanto che la media annuale estrema non differisce più di 3mm. Prendendo le medie corrispondenti a ciascun vento per tutto questo lungo periodo, si trovano assai tra loro diverse; la media più grande corrisponde a'venti di nord e nord-est, la più piccola a' venti di sud e sud-ovest; l'eccesso della prima sulla seconda va oltre i 7mm. Le osservazioni fatte a Metz per nove anni da Schuster mostrano la stessa efficacia, sebbene meno notevole; e cinque anni di osservazioni fatte da Gambard a Marsiglia mostrano quasi nulla cotesta efficacia; perciocchè il vento di sud dà un'altezza *superiore* alla media, ed i venti d'ovest un'altra inferiore. Le variazioni diurne del barometro richieggono assidua cura e perfettissimi strumenti; esse ricavansi, siccome abbiam detto, dalle tre osservazioni delle 9 ore del mattino, delle 3 e delle 9 della sera.

I risultamenti avuti da Bouvard sono contenuti nella tavola seguente:

Altezze medie annuali del barometro per le varie ore del giorno, e variazioni diurne medie che se ne ricavano.

Anni	alle ore 9 del mattino.	alle ore 3 della sera.	alle ore 9 della sera.	Periodo del mattino.	Periodo della sera.
	mm	mm	mm	mm	mm
1816	754,359	753,683	754,051	0,676	0,375
1817	756,676	755,914	756,510	0,762	0,597
1818	756,382	755,473	755,961	0,909	0,488
1819	755,343	754,581	754,993	0,762	0,412
1820	756,325	755,611	755,973	0,714	0,362
1821	756,276	755,598	756,068	0,678	0,470
1822	757,728	757,011	757,310	0,717	0,382
1823	755,197	754,493	754,773	0,704	0,280
1824	755,984	755,269	755,569	0,715	0,300
1825	757,96[illegible]	757,122	757,224	0,844	0,102
1826	757,584	756,756	757,087	0,828	0,331
Medie	756,347	755,591	755,936	0,756	0,373

Si vede che il più piccolo valore del periodo dalle 9 del mattino alle 3 della sera, ovvero del *periodo del mattino*, è più grande del maggior valore del periodo dalle 3 alle 9 della sera, ovvero del *periodo della sera*; e che in ciascun periodo le differenze son molto piccole da un anno all'altro. L'ultima linea fa vedere il definitivo risultamento, ovvero i valori medî ricavati da questi 11 anni. Onde il periodo del mattino è poco più di tre quarti di millimetro, ed il periodo della sera poco meno di un terzo di millimetro.

Nasceva natural curiosità di conoscere l'efficacia delle stagioni su questi risultamenti, e per venire a capo di ciò bastava cercare i valori medî dei periodi per rispetto a ciascun mese: queste medie per 11 anni di osservazione trovansi nella seguente tavola registrate:

Altezze medie del barometro riunite per mesi della stessa denominazione.

Dal 1816 al 1827	alle 9 del mattino.	alle 3 della sera.	alle 9 della sera.	Periodo del mattino.	Periodo della sera.
	mm	mm	mm	mm	mm
Gennaro	758,106	757,429	757,690	0,677	0,261
Febbraro	758,165	757,236	575,557	0,929	0,321
Marzo	756,203	755,406	755,823	0,797	0,500
Aprile	755,253	754,243	754,780	1,010	0,537
Maggio	755,253	754,440	754,786	0,813	0,346
Giugno	757,307	756,600	756,875	0,707	0:275
Luglio	756,554	755,817	756,140	0,737	0,323
Agosto	756,807	755,953	726,271	0,854	0,318
Settembre	756,773	755,972	756,432	0,801	0,460
Ottobre	754,772	754,021	754,522	0,751	0,501
Novembre	755,822	755,277	755,660	0,545	0,385
Dicembre	754,152	754,703	754,950	0,449	0,247
Medie	756,347	755,591	755,950	0,756	0,373

Le conseguenze che ricavansi da questa tavola sono:

1° Che il periodo della sera soffre picciole ed irregolari variazioni ne' varî mesi.

2° Che il periodo del mattino per contrario soffre variazioni più grandi in cui si può osservare una certa regolarità; imperciocchè l'altezza in questo periodo si tiene alquanto minore ne' tre mesi di novembre, dicembre e gennaro; e sempre alquanto più grande nei tre mesi di febbraro, marzo ed aprile; e si tiene media e variabile negli altri sei mesi dell'anno.

Importa cercare analoghi risultamenti nei varî climi.

Il periodo barometrico finalmente è soggetto anche all'influsso del vento: esso è quasi nullo pe' venti di sud, e va al massimo pe' venti di nord.

Oltre i due periodi del mattino e della sera, de' quali di sopra è detto, vi sono anche due *periodi di notte*; il barometro discende dalle 9 della sera fino alle quattro circa del mattino, e sale dalle quattro fino alle 9 del mattino in cui giunge al massimo. Questi periodi sono stati scoperti e misurati dall'Humboldt in tutta l'America equatoriale; ma a Parigi non essendosi il barometro regolarmente osservato di notte, non si sa se le sue oscillazioni sieno regolari e se in certo modo proporzionato ripetano i periodi equatoriali.

Quello che ora si può fare è di paragonare i periodi del mattino e della sera in diversi climi; e siccome il primo è più grande, così bisogna scegliere questo per siffatti paragoni.

Ecco sul proposito i risultamenti pubblicati da Humboldt:

Tavola delle variazioni diurne del barometro secondo le latitudini.

Osservatori		Periodo diurno
		m
Humboldt e Bonpland	America equatoriale, lat. 23° nord a 12° sud, tra 0*t* e 1500*t* di elevazione	2,55
La Condamine	A Quito al Perù, a 0 lat. ed a 1492*t* al di sopra del mare	2,82
Duperrey	A Payta nella costa del Perù; lat. 5° a livello del mare	3,40
Boussingault e Rivero	Santa Fè di Bogota, a 4° 35′ nord, a 1366*t* d'elevazione	2,39
Dorta, Freycinet ed Erchwege	La Guiara, lat. 10° 36′ nord, sul lido del mare	2,41
	Brasile, Rio-Janeiro, lat. 22° 54′ sud, ed alle Missioni degl' Indiani	2,34
Leopoldo de Buch	Las Palmas, Canarie, lat. 8° 28′ nord	1,10
Coutelle	Al Cairo, Egitto, lat. 30° 3′ nord.	1,75
Marqué-Victor	Tolosa, lat. 43° 34′ nord	1,20
Gambart	Marsiglia, lat. 43° 18′ nord.	0,72
Billet	Chambery, lat. 45° 34′ nord, 137*t* di elevazione	1,00
Ramond	Clermont-Ferrand, lat. 45° 46′ nord, 210*t* di el.	0,91
Herrenschneider	Strasburgo, lat. 48° 34′ nord	0,80
Bouvard il vecchio	Parigi, Osservatorio, lat. 48° 50′ n.	0,76
Nell de Bréauté	La Chapelle presso Dieppe, lat. 49° 55′ nord	0,36
Basse e Sommer	Konisberga, lat. 54° 42′ nord	0,20
Parry	lat. 74° nord	0,00

Laonde il periodo del mattino, che è quasi costante sotto l' equatore in tutta la zona dei tropici e fino all' altezza di 3000 metri, va scemando poi rapidamente al crescere delle latitudini. Nella legge appunto di questa progressiva diminuzione bisogna andar cercando la cagione del fenomeno; si ha tutta la ragione di credere che essa derivi più dalla temperatura che dalla posizione del sole.

Il Flaugerques dopo 20 anni di osservazioni, cioè dal 1808 al 1828, fatte a Viviers (Ardèche), si è renduto certo che le altezze medie del mezzodì presentano sensibili differenze secondo le varie fasi della luna, siccome apparisce dalla tovola seguente (Almanacco 1833):

Novilunio.	755,48
Primo ottante	755,44
Primo quarto	755,40
Secondo ottante.	754,79
Plenilunio.	755,30
Terzo ottante	755,69
Secondo quarto.	756,23
Quarto ottante	755,50

Per la qual cosa l' altezza par che vada scemando dal novilunio fino al secondo ottante, d' onde comincia a crescere per giungere al massimo nel secondo quarto.

Si è trovato anche 754,73 per lo perigeo, e 755,73 per l' apogeo.

Per conoscere se quest' influsso appartiene solo alla luna, o anche al sole, sarebber certamente da paragonarsi le medie delle varie ore del giorno.

Schübler ha studiato l' influsso della luna sotto un altro punto di vista, notando il numero de' giorni piovosi corrispondenti alle varie fasi della luna per un gran numero di

osservazioni fatte in Monaco del 1781 al 1788, a Stuttgard dal 1809 al 1812, ed a Monaco dal 1813 al 1828. Dalle quali si raccoglie che prendendo un tempo assai lungo che comprenda 10000 giorni piovosi, i numeri corrispondenti al giorno della luna nuova, del 1° ottaute ec. si trovan conformi a quelli della tavola seguente (Almanacco 1835):

Novilunio	306
Primo ottante	306
Primo quarto	325
Secondo ottante	311
Plenilunio	337
Terzo ottante	313
Secondo quarto	284
Quarto ottante	290

Quest'influsso sul numero de' giorni piovosi deve certamente avere un' attinenza con l'altezza media del barometro.

In tutte le osservazioni barometriche è mestieri fare due essenziali correzioni, una per la capillarità e l'altra per la temperatura.

Ecco la tavola di cui si fa uso per le correzioni della capillarità.

Depressioni del mercurio nel barometro derivanti dalla capillarità.

Diametro interno del tubo	Depressione	Differenze	Diametro	Depressione	Differenze
mm	mm	mm	mm	mm	mm
21,00	0,028	0,004	11,50	0,293	0,037
20,50	0,032	0,004	11,00	0,330	0,042
20,00	0,036	0,005	10,50	0,372	0,047
19,50	0,041	0,006	10,00	0,419	0,054
19,00	0,047	0,006	9,50	0,473	0,061
18,50	0,053	0,007	9,00	0,534	0,070
18,00	0,060	0,008	8,50	0,604	0,080
17,50	0,068	0,009	8,00	0,684	0,091
17,00	0,077	0,010	7,50	0,775	0,102
16,50	0,087	0,012	7,00	0,877	0,118
16,00	0,099	0,013	6,50	0,995	0,141
15,50	0,112	0,015	6,00	1,136	0,170
15,00	0,127	0,016	5,50	1,306	0,201
14,50	0,143	0,018	5,00	1,507	0,245
14,00	0,161	0,020	4,50	1,752	0,301
13,50	0,181	0,023	4,00	2,053	0,362
13,00	0,204	0,026	3,50	2,415	0,487
12,50	0,230	0,030	3,00	2,902	0,692
12,00	0,260	0,033	2,50	3,595	0,985
11,50	0,293		2,00	4,579	

La correzione della temperatura dipende ad un tempo dal coefficiente di dilatazione del mercurio e da quello della scala sulla quale son segnate le divisioni. I coefficienti di dilatazione essendo conosciuti è agevole il fare delle tavole di correzione.

La tavola seguente calcolata da Silbermann si applica al barometro di Fortin munito di una scala di ottone, essa estendesi, per le temperature, da 0° a 35°, e per le pressioni da 650 a 780 millimetri (1).

(1) Sulla scala del barometro trovansi per lo più alcune indicazioni meteoriche, come *secco*, *bello stabile*, *bello*, *variabile*, *pioggia*, ecc., ma non sempre le altezze barometriche corrispondono a questi fenomeni, quantunque sapendo osservare bene il barometro si possono ricavare dei prognostici assai probabili.

L'altezza del barometro scema, siccome altrove

Tavola per ridurre a 0 *le altezze barometriche.*

Termom. centigr.	ALTEZZE BAROMETRICHE IN MILLIMETRI													
	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780
+ 0	+ 0,00	0,00	0;00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13
2	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25
3	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0;35	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38
4	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,51
5	0,53	0,54	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,63
6	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76
7	0,74	0,75	0,76	9,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,89
8	0,84	0,86	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,99	1,00	1,01
9	0,95	0,96	0,98	0,99	1,01	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14
10	1,06	1,07	1,09	1,10	1,12	1,14	1,15	1,17	1,19	1,20	1,22	1,21	1,25	1,27
11	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,39
12	1,27	1,29	1,31	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52
13	1,38	1,39	1,41	1,43	1,46	1,48	1,51	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60	1,63	1,65
14	1,48	1,50	1,52	1,54	1,57	1,59	1,61	1,64	1,66	1,68	1,71	1,73	1,75	1,77
15	1,59	1,61	1,63	1,66	1,68	1,71	1,73	1,75	1,78	1,80	1,83	1,85	1,88	1,90
16	1,09	1,72	1,74	1,77	1,79	1,82	1,84	1,87	1,90	1,92	1,95	1,97	2,00	2,03
17	1,79	1,82	1,86	1,88	1,91	1,93	1,96	1,99	2,02	2,04	2,07	2,10	2,13	2,15
18	1,90	1,93	1,97	1,99	2,02	2,05	2,08	2,10	2,13	2,16	2,19	2,22	2,25	2,28
19	2,01	2,04	2,08	2,10	2,13	2,16	2,19	2,22	2,25	2,28	2,31	2,35	2,38	2,41
20	2,11	2,14	2,19	2,21	2,24	2,27	2,31	2,34	2,37	2,40	2,44	2,47	2,50	2,53
21	2,22	2,25	2,29	2,32	2,35	2,39	2,42	2,46	2,49	2,52	2,56	2,59	2,63	2,66
22	2,32	2,36	2,40	2,43	2,47	2,50	2,54	2,57	2,61	2,04	2,68	2,72	2,75	2,79
23	2,43	2,47	2,51	2,54	2,58	2,61	2,65	2,69	2,73	2,76	2,80	2,84	2,88	2,91
24	2,53	2,57	2,62	2,65	2,69	2,73	2,77	2,81	2,85	2,88	2,92	2,96	3,00	3,04
25	2,64	2,68	2,73	2,76	2,80	2,84	2,88	2,92	2,96	3,09	3,04	3,09	3,13	3,17
26	2,74	2,79	2,84	2,87	2,91	2,96	3,00	3,04	3,08	3,12	3,17	3,21	3,25	3,29
27	2,85	2,89	2,95	2,98	3,03	3,07	3,11	3,16	3,20	3,24	3,29	3,33	3,38	3,42
28	2,96	3,00	3,06	3,09	3,14	3,18	3,23	3,27	3,32	3,37	3,42	3,46	3,50	3,55
29	3,06	3,11	3,17	3,20	3,25	3,30	3,34	3,39	3,44	3,49	3,53	3,58	3,63	3,67
30	3,17	3,22	3,27	3,31	3,36	3,41	3,46	3,51	3,56	3,01	3,65	3,70	3,75	3,79
31	3,27	3,32	3,38	3,42	3,47	3,52	3,57	3,62	3,68	3,73	3,78	3,83	3,88	3,92
32	3,38	3,43	3,49	3,53	3,59	3,04	3,69	3,74	3,79	3,85	3,90	3,95	4,00	4,04
33	3,48	3,54	3,60	3,64	3,70	3,75	3,81	3,86	3,91	3,97	4,02	4,07	4,13	4,17
34	3,59	3,64	3,70	3,75	3,81	3,87	3,92	3,98	4,03	4,09	4,14	4,20	4,25	4,30
35	3,69	3,75	3,81	3,86	3,92	3,98	4,05	4,09	4,15	4,21	4,26	4,32	4,38	4,43

fu detto, coll'allontanarsi dalla superficie della terra, onde si comprende che la distenza verticale tra due punti deve avere una certa ragione con la differenza delle due corrispondenti altezze barometriche. Se l'atmosfera non variasse di densità, il problema sarebbe molto facile, imperciocchè la densità del mercurio essendo 10463 volte più grande di quella dell'aria, l'abbassamento di un millimetro nella colonna barometrica corrisponderebbe a 10^m, 463 Ma siccome le varie falde dell'aria aver debbono diverse densità, e per le diverse pressioni, e per le varie temperature, e per la diversa efficacia della gravità, e per la diversa quantità di vapori che possono contenere, così accade che la determinazione della forza elastica dell'aria atmosferica in funzione delle altezze sia un problema molto intrigato.

Laplace supponendo l'aria per metà satura di vapori e la temperatura uniformemente variabile tra due stazioni, ha trovato

$$X = 18393\ (1 + 0{,}002837\ \cos.\ 2\psi)\left(1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right)\log.\ \frac{H}{h}$$

X è la differenza di altezza delle due stazioni cui corrispondono le altezze barometriche H ed h, T e t le due temperature, e ψ la latitudine.

Con questa formola si è ricavata l'altezza approssimativa dell'atmosfera, che trovasi di 10 leghe di 2280 tese.

Nell'Almanacco dell'Ufficio delle longitudini si trovano delle tavole ricavate dalla formola di Laplace che posson tornare utilissime in pratica. V. Lecoq *Élémens de Géographie physique et de Météorologie*, e Saigey *Physique du Globe*.

Questa tavola è stata calcolata prendendo per la dilatazione cubica del mercurio il coefficiente di Dulong è Petit 0,00018018, e per la dilatazione lineare dell'ottone il coefficiente di Lavoisier e Laplace 0.00001878. Onde per ogni grado bisogna togliere dall'altezza osservata l'altezza medesima moltiplicata per (0,00018018—0,00001878) = 0.0001614. Se l'altezza non si trova scritta nella tavola, si prendono le parti proporzionali; dicasi lo stesso se la temperatura non è giusto un determinato numero di gradi.

517. *De' venti.*—Molto si è scritto intorno ai venti, e molte osservazioni sonosi anche fatte per rispetto alla loro direzione, a' loro cambiamenti periodici o irregolari, e pure noi qui abbiam solo poche cose a dire. È questo un argomento talmente vasto ed intrigato, che non si è potuto finora da tutte le osservazioni conosciute inferire alcuna legge generale. Converrebbe andar frugando tutti i registri meteorologici, vedere per lo stesso tempo lo stato de' venti per tutti i punti del globo, e discutere i cambiamenti che accadono ne' momenti che sieguono. Questa laboriosa impresa esce fuori i confini di un' opera elementare; se si fosse fatta, noi avremmo potuto giovarcene riassumendo in poche parole i fatti generali cui avrebbe dovuto necessariamente guidarci.

Si crede che in certi luoghi i venti si succedano con un determinato ordine; ma le osservazioni fatte, quantunque molto più semplici in se stesse, pure perchè son poche, presentano tale incertezza da non meritare di essere ora da noi poste in disamina.

Ci restringeremo ad alcune osservazioni sulla direzione de' venti e sulle generali cagioni che assegnar se ne possono.

I venti si possono propagare per *impulso* o per *aspirazione*. Con queste due voci vogliamo significare due modi opposti, i quali debbono essere con ogni diligenza distinti. Il vento si propaga per *impulso* quando il soffio ed il cammino progressivo vanno per lo stesso verso; tale è il soffio che esce da un mantice in cui l'aria è compressa. Il vento poi propagasi per aspirazione quando il soffio va per un verso ed il cammino progressivo va pel verso contrario; tale è il vento che entra in un mantice in cui l'aria è rarefatta: il soffio va verso il tubo, e la corrente si propaga per lo verso contrario, imperciocchè i punti più lontani sono gli ultimi a ricevere l'impressione.

Quest' ultima maniera di vento non è tanto rara come credesi: ne troveremo una pruova nell' articolo seguente, parlando degli uragani, e Vargentin l'aveva anche notato su i venti del nord dell'Europa: « Quando il vento, egli dice, passa all' ovest, si fa sentire prima a Mosca e poi ad Abo, quantunque quest' ultima città sia quasi per 400 leghe più occidentale di Mosca; esso giunge in Isvezia dopo aver soffiato in Finlandia ».

Fra tutte le cagioni che si assegnano ai venti, una delle più efficaci è senza dubbio il subito condensamento dei vapori in seno dell'atmosfera. Vediamo talvolta cadere 27^{mm} d'acqua in un'ora sopra un'ampia estensione di terreno, particolarmente verso l'equatore. Or supponghiamo che questa estensione abbia solo dieci leghe di lato, ovvero sia di 100 leghe quadrate: se il vapore che è necessario a generare 27^{mm} di acqua sopra 100 leghe quadrate si trovasse nell'aria allo stato elastico e solo a 10° di temperatura, esso occuperebbe uno spazio centomila volte più grande di quello che occupa allo stato liquido, vale a dire che esso occuperebbe uno spazio di 100 leghe quadrate sopra un'altezza di 2700000^{mm} ovvero 2700 metri. Queste sarebbero le dimensioni del vuoto che deriverebbe da tale condensazione. Veramente il vapore non trovasi allo stato elastico, perocchè è allo stato vescicolare; ma trovandosi sospeso nell' atmosfera, è probabile che abbia una densità minore che allo stato liquido, ed il suo condensamento in gocce di pioggia anche genera un vuoto immenso che non può essere ripieno senza grande turbamento dell'atmosfera (1).

518. ***Degli uragani.*** — **Nella zona torrida**

(1) Gli Antichi conobbero solo quattro venti, che son quelli che spirano dai quattro punti cardinali. Andronico Cirreste ve ne aggiunse altri quattro detti *collaterali*. I Romani aggiunsero 16 altri venti a quelli notati dai Greci, ed i moderni con l'aggiunta di altri otto ne contano 32 che i naviganti segnano sulla *rosa dei venti*. (V. Gerbi, *Corso di fisica*, v. 4.)

I fisici dividono anche i venti in *costanti* e *variabili*. L' *aliseo* che spira in alto mare sotto la zona torrida, è costante. I così detti *monsoni* e parecchi altri sono *periodici*, siccome l' *etesie* e gli zeffiri dei Greci.

I venti sono ordinati a molti usi, sopra i quali crediamo inutile il trattenerci, e possono assai spesso avere molta efficacia sulla salubrità dei luoghi, siccome ben si avvisò Ippocrate. Così l' *Harmattan* che spira sulla costa occidentale tra il Capo Verde ed il Capo Lopez è saluberrimo; il *Samyel* per contrario che spira con violenza nel deserto di Arabia uccide uomini e bestie.

Ciò che l' Autore ha detto dei venti ci par troppo poco: per il che potranno i giovani consultare il Gerbi ed il Lecoq, i quali, senza molto allar-

ed in tutti i climi di alte temperature, gli uragani sono frequenti, e si appalesano con prodigiosa violenza; ne' nostri climi temperati sono in pari tempo più rari e meno violenti; e nelle regioni polari, i grandi sconvolgimenti atmosferici, i quali per altro sono frequenti, riduconsi per quanto pare ai venti delle tempeste o semplicemente ai venti fortissimi. Gli uragani generalmente occupano una grande estensione in lunghezza; ne potremmo ricordare di quelli che hanno percorso 400 o 500 leghe quasi sempre con la stessa forza; essi del pari che il vento propagansi con moto progressivo e con direzione quasi costante: si distinguono per la loro straordinaria velocità, la quale giunge talvolta ad oltrepassare 20 leghe per ora. Negli uragani non trovasi alcun agente nascosto che stia in azione, nessun fluido imponderabile analogo alla elettricità che operi direttamente: è l' aria in somma che col suo moto meccanicamente opera: ma se l'aria è tanto leggiera da far credere che la sua forza sia molto picciola, pure quella forza che manca alle molecole d' aria per la loro massa, loro vien data dalla velocità; ed in tal modo esse generano effetti, che quantunque sembrano da prima incredibili, pure sono alle leggi della meccanica conformi.

Per dare una giusta idea di questi effetti, riferiremo qui il disastro cagionato dall' uragano che devastò la Guadalupa nel 25 luglio del 1825, ch' è uno dei più famosi.

Alcune case solidamente edificate furono eguagliate al suolo; un edifizio nuovo, fabbricato a spese del governo con la maggior solidità, ebbe un' ala interamente abbattuta.

Il vento portava gli embrici con tale velocità, che molti entrarono ne' magazzini perforandone le porte che avean molta grossezza.

Una tavola di abete lunga *un metro*, larga *due decimetri e mezzo*, e grossa *ventitrè millimetri*, si moveva per aria con tale velocità che attraversò da una parte all' altra un tronco di palma di *quarantacinque centimetri* di diametro.

Un pezzo di legno di *venti centimetri* di base e di *quattro in cinque metri* di lunghezza, menato dal vento sopra una strada di ferro battuta e molto trafficata, vi restò per *circa un metro* conficcato nel suolo.

Una bella inferriata posta innanzi il palazzo del governatore fu interamente rotta.

Tre cannoni da 24 furon trasportati fino al muro della batteria in cui eran chiusi.

Volendo di questi fenomeni render ragione, una difficoltà s' incontra: non si sa cioè come mai l' aria abbia potuto ricevere nell' atmosfera tanta velocità, imperciocchè data questa, le più maravigliose azioni meccaniche ne sono necessarie conseguenze. È gas in moto quello che spinge la palla fuori del cannone, ed è anche gas in moto quello che spinge in aria i pezzi di una roccia quando scoppia la mina.

Direzione degli uragani. — Gli uragani, del pari che il vento, possono propagarsi per *impulso* e per *aspirazione*. È necessario por mente a questo secondo modo, imperciocchè esso ci porge un dato importante sulla cagione del movimento. Pare che Franklin sia stato il primo ad osservarlo. Egli dice in un luogo delle sue lettere, che avendo voluto osservare un ecclisse di luna a Filadelfia, gli fu impedito da un uragano di nord-est, il quale apparve verso le ore sette della sera, e recò secondo il solito alcuni nugoloni che coprirono il cielo. Ei restò, alcuni giorni dopo, forte meravigliato nel sentire che a Boston, ch' è per circa 400 miglia al nord-est di Filadelfia, la tempesta era

garsi in parole, dicono quanto basta per un primo insegnamento.

Gli strumenti con cui si conosce la precisa direzione del vento chiamansi *anemoscopii*, e sono ordinariamente delle mobilissime banderuole con indici che girano sotto, in un piano in cui stan segnati i 32 venti.

Gli *anemometri* poi servono a misurare la forza del vento: ve n' ha di molte maniere. Uno dei più semplici è composto nel seguente modo.

» Nel mezzo di una lamina di legno (per fissare » le idee) della superficie di un piede quadrato, » è fissata normalmente una verga pur di legno » dentellata che può agevolmente insinuarsi a tra- » verso un foro nella base, in un tubo di legno » alquanto più lungo di essa verga; non può ri- » tirarsene per la opposizione dei denti. Alla base » di questo tubo è fissata l' estremità di una mol- » la di acciaio piegata in forma di cavastracci, » che con l'altra estremità presenta una resistenza » all' avanzamento della verga nel tubo. Posti il » tubo e la verga in sito verticale, caricando la » lamina successivamente di diversi pesi, si deter- » mina lo sforzo che è necessario per vincere l'a- » zione della molla onde far avanzare la verga » dentro al tubo, e si segnano i punti che deter- » minano la lunghezza della porzione insinuata » per l' azione dei dati pesi. Determinati che siano » questi punti, si presenta la lamina normalmente » al vento, che così spinge la verga tanto più dentro » al tubo, quanto è più forte. Conoscendosi in » peso la forza necessaria per farc insinuar la verga » sol tubo, quando vi si è insinuata si calcola in » peso la forza del vento che produce questo ef- » fetto. » Vedasi l'articolo *Anemometro* nell' Enciclopedia Metodica.

Nell' Almanacco dell'Officio delle longitudini si può vedere la tavola delle velocità dei venti secondo la lora diversa natura.

cominciata verso le 11 della sera, molto tempo dopo la prima fase dell'ecclissi; e paragonando le varie relazioni raccolte dalle diverse colonie, conobbe che quella tempesta di nord-est erasi sentita tanto più tardi per quanto il luogo era più settentrionale, e che però il vento *soffiava per un verso e procedeva per lo verso contrario.*

Dopo sonosi osservati molti uragani di quessa natura.

519. *Delle trombe.* — Il fenomeno delle trombe è la meteora più strana ad un tempo e più incomprensibile nelle sue cause. Per darne una giusta idea, riferiremo qui testualmente la descrizione di una tromba osservata nei dintorni di Treveri nel 1829 dal professore Grossmann.

» Verso le ore due pomeridiane, alla distanza di una lega da Treveri, all'est-nord est di Buwer e di Pfalzel, a 20° circa sull'orizzonte, apparve un fenomeno che recò stupore, e per mezz'ora fece temer di se a molte persone che trovavansi occupate al di fuori.

» Il cielo, dopo una pioggia caduta, era ancora coperto, quando dal mezzo di una nera nube, che veniva su da est-nord-est, cominciò una massa luminosa a muoversi per verso contrario ed a lacerarla con violenza. Tosto la nube prese verso l'alto la forma di un camino da cui usciva un fumo di color bigio biancastro, entro di cui a quando a quando apparivan getti di fiamma, il quale fumo s'innalzava per molte aperture con tanta forza (così si esprimevano alcuni testimonî) come se fosse stato cacciato con gran veemenza mercè molti mantici.

» La meteora era giunta sulle vigne di Disburg di rincontro a Ruwer, quando ad una certa distanza più verso sud, verso la destra sponda della Mosella, proprio toccando il suolo, una nuova meteora siccome sembrava a molte persone, apparve in modo spaventevole; essa disperse de' mucchi di carbon fossile raccolto intorno ad un albero, gittò stramazzone a terra un operaio da calcara che ivi si trovava e si precipitò attraverso la Mosella con orribile rumore, come se molte pietre si fossero urtate a vicenda. L'acqua s'innalzò in forma di alta colonna.

» Quest'ultima meteora lasciando la Mosella continuò il suo cammino per terra sempre con lo stesso strepito, attraversò le campagne di Pfalzel, lasciando sulle biade e sopra i legumi le tracce visibili a zig-zag del suo tragitto. Parte de' legumi fu distrutta, parte atterrata e rotta, ed il resto portato via nell'aria.

» Molte femmine vicino alle quali la meteora passava venian meno, ed altre più lontane si nascondevano o fuggivano gridando: Tutti i campi sono in fuoco. Due operai che erano saliti sopra un albero, osservarono la meteora in tutto il suo cammino; ad un altro venne il desiderio di seguirla con coraggio, il che era facile camminando con passo ordinario. Ma la meteora in uno de' suoi zig-zag subitamente lo avvilupò. Egli sentissi or tirato innanzi, ed ora con violenza portato in alto; si piegò appoggiandosi forte in terra con tutti i suoi strumenti, ma fu eziandio sbalzato e rotolato. Il turbine alla fine lo abbandonò procedendo innanzi.

» Egli non ricorda di aver provata alcuna particolar sensazione del gusto o dell'odorato, ma solo un assordante rumore. Dice essersi accorto di due correnti, una delle quali saliva obbliquamente trasportando gli steli, le spighe ed altri corpi leggieri, e l'altra teneva un' opposta direzione.

» Il sentiere che la meteora si aprì in mezzo ai campi, avea, secondo diverse relazioni, da 10 a 18 passi di larghezza e 2100 passi di lunghezza. La figura del turbine era quasi conica; era or di color bigio-bianco o giallo, ed ora bruno-oscuro, ma più spesso sembrava di fuoco. La prima meteora era in aria, al di sopra di questa, quasi parallelamente, un poco più innanzi verso nord; essa per circa 18 minuti presentò una gran massa di bigio biancastro che sembrava vomitar fumo rosso come fiamma, il quale dalla distanza di circa mezza lega parea un serpente lungo 140 passi, che avea il capo verso nord-nord-est e la coda alla parte opposta.

» In otto o dieci minuti di tempo la coda erasi rambiata abbassandosi: in quella che andava a toccar la terra, il fenomeno sparve, e nello stesso tempo anche la meteora inferiore si dileguò, senza che nella parte superiore o nella inferiore, siccome afferma un testimone oculare, vi fosse stato scoppio veruno; ma sentissi allora un forte odor di zolfo in tutta la campagna. Quasi nello stesso tempo una procella scoppiò sopra i boschi situati al nord-nord-ovest del luogo dove erasi mostrata la meteora, e fu accompagnata da grandine d'insolita grossezza.

» Il sole, per quel che affermano la maggior parte degli spettatori, non comparve mai in tutto questo tempo. Non eravi alcun soffio di vento.

» La meteora di sopra fu vista da Gutweilier, Cossel, e da altri luoghi, come pure da Treveri; essa parve discendere dalle altezze di Hochwald ».

Potremmo rammentare molte simili osservazioni fatte in altri luoghi. (ved. Météore de Malauvray, *Comptes rendus*, t. XXI; p. 543). Diconsi talvolta *trombe marine* (*fig.* 403) quelle che appariscono in alto mare o presso le rive, *trombe d' acqua* quelle che veggonsi sopra i fiumi o sopra i laghi, e *trombe d'aria* quelle che più o men velocemente percorrono la terra. Ma tutto quello che si è potuto raccogliere di queste varie trombe, dimostra che tutte derivano dalle stesse cagioni e generano gli stessi effetti: è sempre la stessa forza che talvolta opera sulle acque elevandole a colonne di molte centinaia di metri di altezza, e talvolta sul suolo scavando il terreno, spezzando gli alberi ed innalzando questi frammenti fino alle nuvole.

Come mai in mezzo all'aria si può generare una forza sì grande? È mestieri il confessare che a questa dimanda la scienza non può dare alcuna precisa risposta.

IGROMETRIA.

520. *Fabbrica ed uso degl' igrometri.*— La igrometria ha un doppio scopo, di misurare cioè la forza elastica del vapore che trovasi nell' atmosfera, e di determinare l' azione che i vari corpi della natura possono esercitare su questo vapore. Questa seconda parte presenta necessariamente una moltitudine di fenomeni che non possono qui esser trattati in modo generale; e però ci appiglieremo particolarmente alla prima parte, come quella che presenta una quistione chiara e precisa.

Tutti gli strumenti ordinati a misurare la forza elastica del vapore contenuto nell' aria diconsi *igrometri*; ma non tutti dipendono dallo stesso principio, perciocchè alcuni operano per condensamento, altri per assorbimento, ed altri finalmente per evaporazione.

Igrometro a condensamento. — Immaginiamo un vaso di vetro pieno d' acqua entro un atmosfera tranquilla a 20°; se l' acqua gradatamente si riduca a 19°, 18°, ec. verrà un momento in cui le pareti del vase appannandosi si copriranno di rugiada; la forza elastica del vapore contenuto nell' aria è allora conosciuta, imperciocchè essa rappresenta la massima tensione corrispondente al *punto della rugiada*.

E per fermo la falda gassosa che circonda l'esterne pareti del vase raffreddasi insieme con queste, e, raffreddandosi pel loro contatto, conserva la sua totale elasticità rappresentata dall' altezza del barometro. Ma vi ha di più: ciascuno dei due elementi che compongono questa falda di gas, l' aria cioè ed il vapore, conserva la propria elasticità; or nel momento in cui questo vapore comincia a condensarsi, è chiaro aver esso il massimo di forza elastica corrispondente alla temperatura del condensamento. Questo è il principio da cui dipende la fabbrica degl' igrometri a condensamento. Tutto riducesi ad osservare con accuratezza la temperatura del punto della rugiada ed a cercare nella tavola la forza elastica che vi corrisponde. Ripetiamo qui cotesta tavola, aggiungendovi una colonna in cui trovasi espresso in grammi *il peso del vapore contenuto in ogni metro cubico d' aria.*

Tavola del peso del vapore contenuto in un metro cubico di aria.

Temperatura del punto della rugiada	Forza elastica corrispondente	Peso del vapore	Temperatura del punto della rugiada	Forza elastica corrispondente	Peso del vapore
	mm	gr.		mm	gr.
—20°	1,3	1,5	19	16,3	16.2
—15	1,9	2,1	20	17,3	17,1
—10	2,6	2,9	21	18,3	18,1
— 5	3,7	4,0	22	19,4	19.1
0	5,0	5,4	23	20,6	20,2
1	5,4	5,7	24	21,8	21,3
2	5,7	6,1	25	23,1	22,5
3	6,1	6,5	26	24.4	23,8
4	6,5	6,9	27	25,9	25,1
5	6,9	7,3	28	27,4	26,4
6	7,4	7,7	29	29.0	27.9
7	7.9	8,2	30	30,6	29,4
8	8,4	8,7	31	32,4	31,0
9	8,9	9,2	32	34,3	32.6
10	9,5	9,7	33	36,2	34.3
11	10,1	10,3	34	38,3	36,2
12	10,7	10,9	35	40,4	38,1
13	11,4	11,6	36	42,7	40,2
14	12,1	12,2	37	45,0	42,2
15	12,8	13,0	38	47,6	44,4
16	13,6	13,7	39	50,1	4 ,7
17	14,5	14,5	40	53,0	49,2
18	15,4	15,3	»	»	»

Il principio del condensamento trovasi applicato ne' tre igrometri seguenti:

L'*igrometro a capsula* è composto da un termometro e da un vasellino di sottilissimo rame indorato (*fig*. 378). Nel vasellino si versa dell'etere solforico: l'evaporazione che succede raffredderà nello stesso tempo l'etere il vaso ed il termometro. Si osserva la temperatura nel momento in cui l'oro si appanna, la quale sarà appunto quella del punto della rugiada; la corrispondente forza elastica si legge sulla scala del termometro.

L'*igrometro a ghiera d'oro* (*fig*. 379) è meno incomodo per viaggio: esso è un semplice termometro a riserbatoio cilindrico sottile ed allungato, nel cui mezzo sta una ghiera d'oro bene assettata sul vetro; dall'una e dall'altra parte di questa il riserbatoio è coperto di finissima tela; vi si versa l'etere, e si osserva la temperatura nel momento in cui l'oro si appanna; il vase dell'etere va messo nella cassetta del termometro.

L'*igrometro di Daniel* è rappresentato dalla figura 380. Esso è composto da un tubo ricurvo terminato da due sfere vuote, una *a* di vetro nero, e l'altra *b* di vetro comune. La sfera nera è piena per metà di etere, e contiene in oltre un picciolissimo termometro, di cui l'asta e la scala son fermate entro del tubo *t*: lo strumento è perfettamente privo d'aria. Sulla sfera *b* coperta di tela fina si versa dell'etere solforico, e l'operazione si ripete fino al momento in cui sulla sfera nera apparisce la rugiada. Osservasi allora con precisione la temperatnra del piccolo termometro interno, e questa è appunto qualla del punto della rugiada.

Il raffreddamento della sfera nera è gene-

rato dalla subita evaporazione dell' etere in essa contenuto, evaporazione la quale è cagionata pel condensamento dell' etere nella sfera *b*, che è sempre più raffreddata dall' evaporazione che accade alla superficie esterna della medesima.

Igrometri di assorbimento. — Molti corpi assorbono più o meno avidamente il vapore contenuto nell' aria siccome nello stesso tempo patiscono de' cambiamenti nelle loro dimensioni, nel loro peso, o in altre loro proprietà, così si è procurato di prendere questi cambiamenti per misura delle quantità di vapore assorbito. Molti igrometri sonosi fatti su questo principio ma noi ne descriveremo un solo, ed è l' *igrometro a capello*, detto anche *igrometro di Saussure* dal nome del suo inventore.

L' *igrometro a capello* è rappresetato dalla figura 381. Il capello è fissato col suo estremo superiore ad una pinzetta *a*, la quale può ricevere un picciol moto mercè la vite *b* e la molla *c*; esso si avvolge col capo inferiore ad una girella a doppia gola, il cui asse porta un indice *d* ordinato a girare sul quadrante *e*. Nella seconda gola della girella si avvolge un filo di seta, il quale sostiene un contrappeso *f* atto a dare al capello una tensione continua e sempre uguale.

Vediamo ora lo strumento come opera. Quando l' aria che circonda il capello diventa più umida, esso assorbe una maggiore copia di vapore, si allunga, il contrappeso fa voltare la girella, e l' ago cammina verso il punto *h* del quadrante: quando per l' opposto l' aria diventa più secca, il capello perde una porzione dell' umido assorbito, disseccasi anch' esso, si accorcia, trae seco il contrappeso, fa voltare la girella, e l' ago va verso il punto *s* del quadrante.

Le indicazioni che dall' igrometro a capello aver si possono dipendono da' due principî che seguono:

1.° Nel *massimo secco* il capello si accorcia sempre della stessa quantità, l' indice cioè si arresta sempre allo stesso punto *s* del quadrante, sia quale si voglia la temperatura; questo punto *s* è quello dell' estremo secco.

2.° Nel *massimo umido* il capello riceve sempre lo stesso allungamento, l' indice cioè si arresta sempre al punto *h*, a qualunque temperatura; questo è il punto del massimo umido

Per lo stesso capello l' intervallo compreso tra i punti estremi *s* ed *h* è sempre lo stesso, ed il moto della pinzetta superiore *a* serve a cambiare un poco la lunghezza del capello per ridurre questi punti sul quadrante.

Dimostreremo questi principî per esperienza, e farem conoscere nello stesso tempo la graduazione dello strumento. Si pone l' igrometro sotto una campana, vi si fa il vuoto o vi si lascia l' aria, ma sì nell' uno come nell' altro caso se ne toglie tutto l' umido o con l' acido solforico concentrato o col cloruro di calcio, e si nota il punto in cui l' indice si ferma, il quale si segna sul quadrante con lo zero, questo è il punto del massimo secco: imperciocchè ripetendo molte volte l' esperienza a diverse temperature si ha sensibilissimamente lo stesso risultamento. È mestieri alle volte aspettare alcuni giorni perchè l' indice finisca di muoversi verso il secco.

Dopo si porta l' igrometro sotto una campana le cui pareti siano bagnate con acqua distillata: questa campana si pone sopra un piatto contenente dell' acqua, e si abbandona l' esperienza a se stessa; l' indice rapidamente si avvia verso il punto *h*, ossia dalla parte dell' umido, e finalmente si ferma: quel punto ove si arresta, sia la temperatura a 0°, 10°, 20° 30°, è sempre il punto del massimo umido. Questo si segna con 100; l' arco compreso sul quadrante tra 0 e 100 si divide in 100 parti uguali, e ciascuna di queste parti si chiama *grado di umido*.

I capelli debbono essere da prima trattati con liscivia alcalina leggerissima ed appena tiepida; poi si scelgono quelli che sono eguali ed omogenei; spesso accade che dopo alcuni mesi il capello trovasi alterato, esso più non arriva ai punti estremi e finisce di avere un cammino regolare; allora è forza rinnovarlo.

L' igrometro graduato in tal modo è acconcio solo a mostrare il massimo umido o il massimo secco, ed a mostrar che l' aria si va più o meno avvicinando a questi limiti. Per ricavare da queste indicazioni la forza elastica del vapore, doveasi trovare la ragione che passa tra i gradi dell' igrometro e le forze elastiche; questo apponto ha fatto Gay-Lussac, e la tavola seguente contiene, per la temperatura di 10°, la tensione del vapore per ciascun grado dell' igrometro.

TAVOLA IGROMETRICA

Compilata per la temperatura di 10° centesimali secondo l' esperienza di Gay-Lussac.

Gradi dell' igrometro a capello	Tensioni	Gradi dell' igrometro a cappello	Tensioni	Gradi dell' igrometro a capello	Tensioni
0	0,00	34	17.10	68	44,89
1	0,45	35	17,68	69	46,04
2	0,90	36	18,30	70	47,19
3	1,35	37	18,92	71	48,51
4	1,80	38	19,54	72	49,82
5	2,25	39	20,16	73	51,14
6	2,71	40	20.78	74	52,45
7	3,18	41	21.45	75	53,76
8	3,64	42	22,12	76	55,25
9	4,10	43	22,79	77	56,74
10	4,57	44	23,46	78	58,24
11	5,05	45	24,13	79	59,73
12	5,52	46	24,86	80	61,22
13	6,00	47	25,59	81	62,89
14	6,48	48	26,32	82	64,57
15	6,96	49	27,06	83	66,24
16	7,46	50	27,79	84	67.92
17	7,95	51	28,58	85	69,59
18	8,45	52	29,38	86	71,49
19	8,95	53	30,17	87	73,39
20	9,45	54	30,97	88	75,29
21	9,97	55	31,76	89	77,19
22	10,49	56	32,66	90	79,09
23	11,01	57	33,57	91	81,09
24	11,53	58	34,47	92	83,08
25	12,05	59	35,37	93	85,08
26	12,59	60	36,28	94	87,07
27	13,14	61	37,31	95	89,06
28	13,69	62	38,34	96	91,25
29	14,23	63	39,36	97	93,44
30	14,78	64	40,39	98	95,63
31	15,36	65	41,42	99	97,81
32	15,94	66	42,58	100	100,00
33	16,52	67	43,73	»	»

In questa tavola il massimo della forza elastica è rappresentato da 100; onde quando ad 80° dell' igrometro si trova 61,22 nella tavola delle tensioni, per avere la tensione in millimetri conviene moltiplicare questo numero per $\frac{9,47}{100}$ essendo 9,47 la tensione massima per 10°; a 15° si dovrebbe moltiplicare per $\frac{12,8}{100}$, il massimo di tensione essendo allora di 12,8.

Ma quando le temperature si scostano molto da 10°, questa tavola indurrà probabilmente in errore, imperciocchè la ragione tra i gradi dell' igrometro e le tensioni varia con la temperatura.

Vediamo il metodo con cui Gay-Lussac ha potuto fare questa graduazione. Egli ha preso varie soluzioni dalle quali aveasi il vapore aqueo a diverse tensioni per la stessa temperatura di 10°; ha osservato i gradi dell'igrometro nel vapore; ed indi per interpolazione ha dedotti i gradi che l'igrometro avrebbe segnati in altri vapori di tensioni intermedie, o al contrario. La tavola seguente indica le soluzioni scelte; le loro tensioni erano state misurate nel barometro, del pari di quelle del vapore aqueo.

NOMI delle Soluzioni	Densità delle Soluzioni a 10° centesimali	Tensione delle soluzioni a 10° quella dell' acq. essendo rappresentata da 100.	Gradi dell' igrometro a capello corrispondenti alla tensione di ciascuna soluzione.
Acqua	1000	100,0	100,0
Muriato di soda .	1096	90,6	97,7
Id.	1163	82,3	92,2
Id.	1205	75,9	87,4
Muriato di calce .	1274	66,0	82,0
Id.	1343	50,5	71,0
Id.	1397	37,6	61,3
Acido solforico .	1493	18,1	33,1
Id.	1541	12,2	25,3
Id.	1702	2,4	6,1
Id.	1848	0,0	0,0

Prima che si scegliesse il capello, molte materie organiche furono adoperate, la pergamena, le pelli diversamente preparate, i nastri di osso di balena, ec.; si ricorse eziandio al cambiamento di volume o di capacità; si poneva il mercurio entro le penne da scrivere, nelle vesciche di topo, ec., ed in un tubo stretto osservavasi l'elevazione o la depressione del mercurio, nascente dalla dilatazione cagionata dall' umido o dal ristringimento generato dal secco. Ma quasi tutte queste invenzioni sono ora abbandonate.

Psicrometro. — Il psicometro ideato da Auguste di Berlino, misura lo stato igrometrico dell' aria mercè l' evaporazione dell' acqua, o piuttosto mercè il freddo da esso generato. Questo strumento è composto da due termometri eguali (*fig.* 382), i cui riserbatoi sono egualmente esposti all' aria; ma uno rimane asciutto, nell' atto che l'altro coperto di tela fina si tiene perennemente bagnato: un semplice filo di lino il quale vada dal riserbatolo del termometro ad un vase d' acqua molto vicino, è sufficiente a dare questo effetto. L' evaporazione che accade sul riserbatoio umido genera un abbassamento di temperatura, da cui si può ricavare la forza elastica del vapore che trovasi nell' aria. Si potrebbe da prima credere che tale raffreddamento derivi dalle correnti d' aria; ma è mestieri avvertire che se l' aria raffredda la pallina umida portando via il vapore, la riscalda toccandola, ed Auguste ha fatto vedere che le due opposte cagioni si eguagliano, in modo che la differenza di temperatura tra la pallina secca e la pallina umida non dipende dalla velocità del vento, ma solo dal grado di umidità dell' aria. Fermato que-

sto principio, Auguste ha compilato delle tavole in cui per ciascun grado di temperatura indicato dal termometro secco si ha la forza elastica del vapore igrometrico quando conoscesi il raffreddamento della pallina umida. Questo nuovo genere d' igrometro è stato adoperato con gran successo da Humboldt e da alcuni altri osservatori, e si può sperare che recherà gran giovamento alla scienza, quando la maggior parte de' fabbricanti saran giunti a dargli quel grado di preferenze che dall'inventore Auguste gli vien sempre dato(1).

DEL SERENO DELLA RUGIADA, DELLA BRINA E DELLA GELATA.

521. Il *sereno* è una minuta pioggiolina che cade talvolta senza che nel ciel si vegga alcuna nube. Ne'nostri climi questo fenomeno si mostra solo nell' estate, e quasi sempre al tramontar del sole; osservasi specialmente nelle valli o nelle basse pianure poco lungi dai laghi e da fiumi; ne' luoghi elevati è più raro.

La cagione di questo fenomeno è semplicissima Supponghiamo per un momento che verso le cinque o le sei della sera la temperatura dell'atmosfera sia per esempio a 20°, e la tensione del vapore a 13^{mm}: il sole allora continuando ad avvicinarsi all'orizzonte, la temperatura dell' ambiente si abbasserà di più, senza che la forza elastica del vapore provi alcun cambiamento; e quando la temperatura giunge a 14 o 15°, il vapore non può più esistere tutto quanto, imperciocchè esso allora avrebbe una forza elastica più grande del massimo corrispondente a questa temperatura; è mestieri perciò che in parte si condensi, e da questo condensamento appunto nasce il sereno. Questo fenomeno non è molto sensibile se non che ne' grandi caldi, imperciocchè allora solamente l'aria può contenere molti vapori.

Rugiada. — Tutti i fenomeni della rugiada sono conseguenze delle leggi dell' igrometria e dell'irraggiamento notturno. Fu il dottor Wells che la prima volta svelò e sviluppò queste conseguenze in una ingegnosa serie di esperienze le quali corrispondono quasi all' anno 1800; la sua opera su la rugiada fu nel 1816 coronata dalla Società Reale di Londra.

Nelle notti tranquille e serene, l'aria atmosferica e tutti i corpi che si trovano alla superficie della terra, irraggiando calorico verso gli spazi celesti, si raffreddano, ma non tutti egualmente: l' aria meglio conserva il suo calorico, e però quasi tutti i corpi divengon di essa più freddi, alcuni di 1°, altri di 2°, di 3°, ed altri finalmente di 10 o anche di 12°. (*).

Abbiamo veduto che questi raffreddamenti

(1) Questo strumento suole ache chiamarsi *termo-igrometro*.

(*) Wells determinò queste differenze di temperatura mediante due termometri nudi; uno dei quali era in contatto cogli arbusti o l' erba dei prati, e l' altro mantenevasi sospeso nell' aria, sotto una picciola tettoja, a 4 piedi d' altezza. Ora siffatto metodo d' osservazione va soggetto a due gravi obbiezioni. Imperocchè il vetro, di cui si compongono i recipienti termometrici, essendo una sostanza dotata di un gran poter emissivo, le radiazioni de'termometri verso il suolo e gli oggetti circostanti vengono a turbare le azioni calorifiche, dovute al contatto dell' aria e delle piante, le cui temperature non possono quindi valutarsi colla debita esattezza. A tal fine devesi pertanto impedire il raggiamento calorifico degl' involucri termometrici colla sovrapposizione de'metalli tersi e politi, il cui poter emissivo, giusta le più recenti osservazioni, non arriva forse alla 30ma parte di quello del vetro. Egli è poi noto, che nelle notti calme e serene, i diversi strati orizzontali dell'atmosfera, lungi dal possedere lo stesso grado di calore, trovansi molto più freddi in vicinanza della superficie terrestre. Dunque, per sapere di quanto un dato corpo scende sotto la temperatura del mezzo ambiente in virtù della propria sua radiazione verso lo spazio, fa d' uopo servirsi di termometri racchiusi entro leggeri astucci mobili di latta, d'argento o d' ottone ben levigati e disposti per modo che l' un d' essi termometri a superficie metallica tocchi la parte inferiore del corpo raggiante, e l' altro se ne stia liberamente sospeso nell' aria alla medesima altezza.

Seguendo queste norme, io trovai che il raggiamento notturno delle sostanze che posseggono il massimo poter emissivo giunge appena, nei casi più propizii, ad abbassare la loro temperatura di 2° cent. sotto quella del fluido circostante: *la proposizione sostenuta dal Pouillet, ed altri autori, che certi corpi si raffreddano talvolta 10 o 12° più dell' aria, in virtù della loro radiazione notturna, è dunque erronea.*

Non v' ha dubbio però che due termometri ad astuccio metallico, uno de' quali tocchi la parte suprema d' una prateria e l' altro sia mantenuto al medesimo livello senza contatto dell' erba, segnano in talune circostanze 10 e 12° meno di un altro termometro dello stesso genere liberamente sospeso a 4 piedi d' altezza. Come mai la debole azione frigorifica dianzi accennata può ella generare un raffreddamento cinque volte maggiore nell' aria circonfusa; *come mai*, in altri termini, *la diminuzione calorifica di 10°, che segna talora lo strato d' aria in contatto col prato rispetto alla temperatura dello strato d' aria distante 4 piedi dal suolo, può ella derivare dai 2 soli gradi di freddo che produce l' erba raggiando il proprio calore verso il cielo?*

Per sciogliere il quesito osserviamo, in primo

per rispetto alla temperatura dell' aria derivano da tre principali cagioni, cioè: 1° dal potere irraggiante, dalla conducibilità e dalle dimensioni de' corpi stessi; 2° dall' aspetto sotto cui possono vedere il cielo ed i corpi circostanti; 3° dalla loro giacitura obbliqua o inclinata, e dal modo onde sono esposti a' venti o alle correnti d' aria.

Quando spira più o men forte il vento tutte queste ineguaglianze vannosi più o meno sperdendo, imperciocchè l'aria riduce i corpi alla sua temperatura a misura che essi si van raffreddando per l' irraggiamento; esse si sperdono del pari quando il cielo è coperto di nubi, imperciocchè il calorico diffuso di queste è assorbito variamente da' diversi corpi, rende le loro perdite quasi eguali, ed analoghe a quelle dell' aria.

Questi fatti e l' altro del condensamento del vapore tosto che è giunto al suo massimo, bastano a render ragione di tutti gli svariati fenomeni che la rugiada, la brina e la gelata presentano.

Per la rugiada, basterà ora osservare che in una certa ora della notte, se la temperatura dell' aria si trovi per esempio a 13°, vi saran de' corpi a 14°, altri a 13, ed i più irraggianti saranno anche a 7, a 6 o a 5° se si trovano convenientemente situati. Allora se l' aria è molto umida, cioè se il punto della rugiada è vicino a 15°, quasi tutti i corpi saranno irrugiadati, il più caldo meno ed il più freddo più; se l' aria è meno umida, se il punto della rugiada sia per esempio a 10°, i corpi che si troveranno al di sopra di 10° resteranno asciutti, e quelli che stanno al di sotto di 10° si troveranno più o meno coperti di rugiada; se finalmente l' aria sia estremamente secca, talchè il punto della rugiada sia al di sotto di 5°, tutti i corpi, i più freddi del pari che i più caldi, staranno asciutti.

Per altre temperature dell' aria, tanto in ora più avanzata della notte, quanto in diversa stagione, il ragionamento è perfettamente lo stesso (1).

La *brina* o *gelata bianca* non deriva da una

luogo, che i predetti 2° di freddo si manifestano costantemente, durante le notti calme e serene, due o tre ore dopo il tramonto del Sole, in qualunque stagione dell' anno: l' effetto immediato della radiazione non dipende dunque dal grado di calore che domina nello strato d' aria ambiente. Ciò posto, sia la temperatura dell' aria uguale a 20°; supponiamo il Sole sceso da qualche tempo sotto l' orizzonte e l' erba giunta al massimo suo raffreddamento, cioè a 18°. È chiaro, che lo strato d' aria a contatto del prato non potrà trovarsi lungamente in presenza delle foglie e degli steli raffreddati che vi stanno immersi senza riceverne una impressione di freddo; suppongasi pertanto la sua temperie diminuita di 0°,5, per cui il termometro liberamente sospeso segni, non più 20°, ma 19°,5. Ora si è detto precedentemente che i 2° di freddo prodotti dalla radiazione immediata dell' erba sono indipendenti dalla temperatura dell' aria circostante: dunque l' erba raggierà una nuova porzione del proprio calore verso il cielo, sintantochè la sua temperatura divenga di bel nuovo 2° più bassa di quella dell' aria ambiente, e scenderà quindi a 17°,5. Ripetendo varie volte lo stesso raziocinio, è chiaro che l'erba passerà successivamente a 17°, 16°, 5, 16°, ec., e l' aria a 19°, 18°, 5, 18°, ec. Così la differenza di temperatura, fra lo strato d' aria 3 o 4 piedi distante dalla superficie terrestre e lo strato d'aria che contiene l' erba del prato, andrà gradatamente crescendo, e cesserà finalmente, quando la quantità di calore perduta in virtù della radiazione diverrà uguale alla quantità di calore acquistata pel contatto del suolo e del mezzo ambiente.

Le condizioni essenziali di queste azioni e reazioni tra l' erba e l' aria essendo, un certo grado d' isolamento calorifico nel corpo radiante ed una certa quiete nel fluido circonfuso, ognun vede, che quanto si è detto del prato, succederà pure, con una energia più o men grande, nelle ciocche di cotone o di lana sospese a qualunque altezza, ne' frantumi di legno, vetro, pietre o vegetabili posati nel fondo d'un recipiente aperto, ed in qualsiasi altro caso di una sostanza, non metallica e più o meno isolata, intorno a cui possa soggiornare, per qualche tempo, l'aria condensata dal freddo.

Tuttavia il sito più opportuno, per ottenere nei corpi il massimo raffreddamento notturno, è la parte centrale d'una grande prateria, non solo per la maggior vastità della porzione visibile del cielo, ma perchè ivi le successive diminuzioni di temperatura del corpo raggiante e del mezzo ambiente si conservan meglio che altrove, e per la cattiva conduttibilità dell'erba, e pe' numerosi ostacoli che l' infinito numero di foglie e di steli oppongono al movimento dell' aria, e per l' esistenza di così fatti ostacoli in una grande estensione del piano che circonda i termometri sottoposti all'esperienza. Di fatti, le differenze massime di 10 e 12° cent. tra la sostanza radiante e gli strati superiori dell'atmosfera, si sono sempre osservate nel bel mezzo de' prati.

Sarà poi facile l' intendere, come nelle notti quiete, lunghe e serene d' autunno e di primavera l' aria finisca col diventare umidissima presso la superficie terrestre, e come, sotto questa grande umidità, il debole grado di freddo generato nelle pianta per virtù del loro raggiamento calorifico verso il cielo, basti a precipitare il vapor aqueo diffuso negli strati inferiori dell'atmosfera. Questi due fatti fondamentali non possono spiegarsi chiaramente col solo ajuto della radiazione de' vegetabili e del suolo più o men disseccato, *senza por mente alla reazione dell' aria circostante, che gli autori più recenti di fisica trascurano tuttora completamente*—ecco, a parer mio, l' origine delle tante, e sì ostinate obbiezioni sollevate in questi ultimi tempi contro la teorica del Wells. *Melloni*

(1) Intorno all'origine della rugiada tre dottri-

cagioue diversa, imperciocchè essa non è altro se non che la rugiada congelata; basta duuque che allo spuntar del sole la temperatura dell'aria nou oltrepassi 6 o 7°, perchè si abbiano de' corpi coperti di gelata, purchè le condizioni della rugiada sieno avverate; imperciocchè i corpi più freddi sceudendo allora al di sotto dello zero, è forza che la

ne si disputarono la palma. La prima è quella di Aristotile sostenuta per molto tempo fino a Leslie, con la quale la rugiada è considerata come una invisibile pioggiolina nascente dal condensamento dell'umido mercè il freddo della notte. La seconda sostenuta da Geesten, Blakader, Rosbruck e Fusinieri fa nascere la rugiada da' vapori caldi che vengono dal suolo e son raffreddati e condensati dalla falda d'aria soprapposta. La terza finalmente è quella di Wells da tutt'i fisici tenuta per vera, tranne pochissimi tra quali va ricordato specialmente il Fusinieri pel molto tempo che ha speso a fare sperienze tendenti a comprovare il suo assunto.

Le leggi dell'irraggiamento del calorico scoperte dal Melloni non han punto contrariata la dottrina del Wells, ma invece le hanno offerto un valido appoggio, per cui il Melloni dovea necessariamente dichiararlesi amico. Quindi il Fusinieri volendo combattere la dottrina di Wells non potea risparmiare le teoriche del Melloni, e però sorge nemico di entrambe con un calore che non gli permette di usare quel linguaggio che nelle quistioni di scienza dovrebbe essere il solo permesso. Il suo esempio fu seguito da qualche altro e le villanie presero spesso il luogo delle ragioni. Io qui non istarò a ricordare le invereconde pagine che si scrissero in alcune cee effemeridi ed in alcuni volumi cui si dà il nome di trattati, ma ricorderò i risultamenti sperimentali cui il P. del Verme ed io pervenimmo nell'autunno del 1844, quando da noi stessi volemmo accertarci de' fatti. Da tutte le nostre ricerche la teorica di Wells venne pienamente riffermata. Noi trovammo le piante di notte più fredde dell'ambiente, ed io trovai che il freddo delle piante era appunto tale che bastava a precipitare il vapore dell'aria circostante, soddisfacendo così ad un desiderio dal Fusinieri stesso manifestato.

Senza ripeter qui la esposizione delle sperienze da noi fatte, inviando il lettore alle memorie da noi pubblicate, risponderò invece ad alcune obbiezioni che gli avversari ci fanno.

Obbiezione 1. Secondo la teorica di Wells, poste le altre cose eguali, debbono meglio coprirsi di rugiada que' corpi cui più libero si offre l'aspetto del cielo, le cime degli alberi dunque dovrebbero prima e meglio coprirsi di rugiada, e pure osserviamo il contrario, giacchè di rado la rugiada arriva sulle cime degli alberi e sempre è prima ad apparire sulle umili erbe.

Se gli avversari non hanno la benda, troveranno la risposta nel testo dell' Autore, e prima di presentare di nuovo la loro difficoltà avrebbero avuto il debito di mostrare la insufficienza della risposta.

Obbiezione 2. Il terreno è più caldo dell'aria soprastante dunque non può coprirsi di rugiada, ed intanto noi osserviamo il contrario.

Del Verme ed io abbiamo trovato il terreno alla superficie, di notte, sempre più freddo dell'aria, dunque capace di coprirsi di rugiada, ed anche quando altri sostenga di aver trovato il suolo più caldo, pure senza prendere in disamina il modo di osservare, dico che il termometro in questi casi potrebbe indurci in errore prendendo esso calorico da tutta la massa di terreno che tocca, nell'atto che le particelle tenuissime sporgenti e meglio esposte potrebbero avere una temperatura diversa da quella della massa. È a distinguere finalmente l'umido assorbito dalla rugiada propriamente detta.

Obbiezione 3. I corpi umani più caldi dell'aria si bagnano di rugiada, il che contraddice alla teorica di Wells.

Mentre l'obiezione è così enunciata i nostri avversari nel dimostrarla ricordano che i nostri vestimenti s' inumidiscono quando la notte ci troviamo in campagna a ciel sereno. Il pastrano e le brache dunque sono corpi umani!!

Obbiezione 4. Il vapore notturno che ascende è spesso visibile.

Rispondo in prima che sostenere la teorica di Wells non significa negare che il suolo dia vapore allo spazio soprastante: qui non si tratta di cercare la causa dell'umido, ma sì bene quella della precipitazione del vapore in forma di rugiada.

In secondo luogo se la rugiada provenisse da vapori che si precipitano per lo freddo dell'aria, si dovrebbe sempre avere nella generazione della rugiada del vapore di soprassaturazione visibile nell'aria, il che non accade quasi mai, o quando intervenga di osservarlo non deve questo riferirsi alla cagione della rugiada ma della nebbia, del sereno, ossia deve dirsi che per le note cagioni il vapore si precipita come in mille altre congiunture. Il vedere che la rugiada non è preceduta o accompagnata da nebbia o caligine, anche quando è copiosissima, sarebbe forse una ragione bastante per attenersi alla teorica di Wells che si combatte.

Obbiezione 5. Si dice che la maggior copia di rugiada sopra i corpi esili sia un fatto contrario alla teorica di Wells, il che si dimostra con semplici punti interrogativi.

Ecco il famoso argomento del filo di ragno, che coprendosi di rugiada confuta, secondo il Dottor Fusinieri, tutti gli argomenti di Wells e di Melloni, e pure chi il crederebbe? questo fatto si spiega a maraviglia, dopo che il Melloni ha dimostrato per via di esperienze quanto semplici tanto concludenti, che l'irraggiamento non solo proviene dalla superficie ma anche dalle falde sottoposte fino ad una certa profondità che varia con le varie sostanze, per cui un filo di ragno è un corpo che irraggia calorico da tutta la sua massa, nell'atto che per lo contatto dell'aria ne riceve solo alla superficie, ed aggiungo che quando è circondato da un velo di rugiada continua probabilmente a trovarsi nelle medesime condizioni.

Tralascio qui alcune altre obiezioni perchè sono tanto frivole che non le stimo degne di riposta. Il Fusinieri poi con qualche suo seguace mentre salutano il lavoro di Wells coronato dalla Società

rugiada onde sono coperti si riduca in ghiaccio o piuttosto in piccioli aghi di neve.

La *gelata di autunno* e specialmente la *gelata di primavera*, le quali risultano tanto nocive alle ricolte, hanno la stessa origine, ma l' umido dell' aria allora non vi ha alcuna efficacia ; non è più il vapore deposto che si congela, ma è l' acqua contenuta ne' freschi germogli delle piante, nelle gemme, ne'fiori o negli embrioni delle frutta, la quale si gela quando questi organi delicati, del pari di tutti gli altri corpi dei quali di sopra è detto esposti all' irraggiamento notturno, giungono a prendere la temperatura di $\frac{1}{2}$ o di 1° al di sotto dello zero, il che accade infallibilmente tostochè la temperatura dell' aria è giunta a 3° o 4° al di sopra di 0, essendo sereno il cielo e l' aria tranquilla.

L' aria generalmente non istà immobile intorno alle piante ed agli arbusti, imperciocchè le falde d' aria raffreddate al contatto di essi scorrono come sopra piani inclinati, e ad esse ne succedono altre ; per questo moto vannosi alquanto riscaldando, e forse per questo non raffreddansi oltre i 4 o 5° al di sotto della temperatura dell'aria.

Seguita da questi principi che per impedire il gelo nelle congiunture delle quali di sopra è detto, basta indebolire gli effetti dell'irraggimento notturno, il che si consegue *nascondendo il cielo* alle piante che si vogliono difendere, coprendole ad una certa distanza di tele o stuoie, o anche di un velo. Questi mezzi adoperati con tanto successo per impedire i geli locali, non giovano per nulla contro i geli generali, cioè contro quelli che accadono perchè l' aria stessa è giunta ad una temperatura al di sotto di 0 (1).

Gli effetti dell'irraggiamento rendonsi molto sensibili col metodo onde si fa il ghiaccio al Bengala. Il Williams parla di questo genere di *manifatture* alle quali sono addetti più di 200 operai (*Transact. Phylos.*vol.LXXXIII.) Tutto l' artifizio consiste a scegliere un terreno perfettamente scoperto e di conveniente estensione. Questo si divide in quadrati di 4 o 5 piedi di lato contornati da un picciolo orlo rilevato dell'altezza di 4 o 5 pollici. In questi compartimenti, coperti di paglia o di canne di zucchero secche, si pongono tante terrine piene d' acqua per quante ve ne possono entrare. Quando l' aria è tranquilla ed il cielo sereno, si genera ghiaccio abbondante ; il vento e le nubi ne impediscono la formazione. Il Williams ha conosciuto per esperienza che la temperatura dell'aria è quasi sempre a parecchi gradi sopra 0, ed il termometro posto una volta sulla paglia accanto alle terrine non discese oltre i 5 o 6°, nell' atto che il ghiaccio si formava rapidamente e prendeva molta grossezza.

DELLA NEBBIA E DELLE NUBI.

522. La *nebbia* si genera nell'aria umida quando la forza elastica del vapore è più grande del massimo di forza elastica corrispondente alla temperatura dell'aria. Il fumo che s' innalza sopra un vase pieno d' acqua calda è una vera nebbia ; essendo l' aria per esempio a 20° e l' acqua a 60°, il vapore si forma con una forza elastica eguale a 144^{mm}, ch' è quella che corrisponde a 60°; ma siccome questa non può sussistere alla temperatura di 20°, è necessario che una porzione di vapore si condensi fino a che la forza elastica riducasi a 17^{mm}, ch' è quella che cor-

reale di Londra col nome d' *illusione coronata*, *d' ipotesi* ec. sono obbligati di far mille gratuite supposizioni per dar ragione de'fatti, e, quando lor sembrano troppo ostili, con una gentilezza e con una logica tutta propria, li negano, regalando un mondo di villanie a coloro che ebber la curiosità di osservarli. Ma se il Fusinieri ha dato per questo il turpe e scandaloso esempio, è stato a mille doppi superato da chi non avendo l'ingegno di lui vuole fargli la scimia nel modo il più basso ed indecoroso. Il Fusinieri dunque osserva talvolta dei fatti che lo contrariano, gli espone e frattanto non si dà la pena di mostrarci come essi ridur si possono al suo principio. Per esempio, da'seguaci del Wells si spiega perchè esposti di notte due termometri all'aria aperta e nelle medesime condizioni, ma uno nudo e l'altro vestito di foglia metallica questo si trova ad una temperatura più alta del primo, avendo i metalli minor potere emissivo del vetro ; ora il Fusinieri in moltissime congiunture trova questo fatto e fa le viste di non intendere che, se i termometri debbono raffreddarsi unicamente per lo contatto dell'aria, il termometro vestito dovrebbe essere il primo a risentirne, essendo il metallo buon conduttore del calorico. (*V. le due memorie di sopra citate nel Rendiconto dell'Accademia delle scienze*, 1844.

(1) Nei nostri climi, in cui l' aria non va mai per molti gradi al di sotto dello zero, anche giovà talvolta coprire le piante per non fare che due cagioni concorrano a raffreddarle. E poi coprendo per esempio gli agrumi con istuoie, paglia o frasche, l'aria intercetta in tutti quegl'interstizi non potendosi liberamente muovere, serve come di coibente del calorico, ed impedisce il soverchio raffreddamento. Vi sono dunque de'casi in cui alcune piante posson salvarsi anche da'geli generali. Dalle cose dette intendesi perchè molte piante resistan meglio ai freddi quando sono addossate ad un muro che lor serve di spalliera.

risponde a 20°. La nebbia dunque sarà tanto più densa per quanto più alta sarà la temperatora dell' acqua per rispetto a quella dell' aria, e per quanto l' aria stessa sarà più umida, imperciocchè se questa fosse satura sarebbe mestieri che tutto il nuovo vapore si condensasse nell' arrivarvi.

La nebbia che si forma sul mare, sopra i laghi, i fiumi ed i torrenti, ha perfettamente la stessa origine: molti osservatori sonosi, per esperienze dirette, renduti certi che nel momento in cui la nebbia si genera, la temperatura dell'aria è sempre più bassa di quella dell' acqua. Ma questa condizione, quantunque sempre necessaria, non è sempre sufficiente: quando l' aria è secca e molto agitata, essa sperde i vapori nell'atto della loro formazione, senza che ne segua un condensamento sensibile: ma quando l' aria è umida e tranquilla, i vapori lentamente elevandosi quasi interamente si condensano, siccome accade nell' inverno quasi in vicinanza di tutte le sorgenti. Spesso le nebbie si osservano in congiunture che sembrano del tutto diverse. Nello sciogliersi delle nevi per esempio, quando la temperatura dell' aria è molto più alta di quella dell' acqua, anche si veggono densissime nebbie generarsi sopra i torrenti, ancorchè questi siano tuttavia coperti di ghiaccio: ma in questi casi solo le apparenze sono diverse, ed il principio è lo stesso. E per fermo, allora l' aria calda è saturata di umido, e quando si mescola a quella raffreddata al contatto del ghiaccio o altri corpi freddi deve avere i suoi vapori condensati.

Dalla stessa cagione derivano anche le nebbie che nella state si osservano sopra i fiumi dopo le procellose pioggie. L'aria è più calda della superficie dell' acqua, ma è più satura di umidità, ed avvicinandosi a' luoghi ove la freschezza del fiume si fa sentire, è mestieri che il suo vapore si condensi perchè essa si raffredda.

In generale due arie sature di umido e di temperature diverse, mescolandosi, è forza che diano la nebbia, imperciocchè la temperatura media che nasce è troppo bassa per contenere la media forza elastica del vapore.

Se per esempio un' aria satura di umido a 5° si mescoli ad aria anche satura a 15°, la temperatura media sarà di 10°; ma la forza elastica che corrisponde a 5° è 7^{mm}, quella che corrispondende a 15° è 13^{mm}; la forza elastica media è dunque 10^{mm}, la quale non può esistere in un'aria di 10°, imperciocchè il massimo di forza elastica corrispondente a questa temperatura è solo di 9^{mm}.

Le *nubi* altro non sono che ammassi di nebbia più o meno densa nuotanti a diverse altezze nell' atmosfera, talvolta immobili, e più spesso portate da correnti d' aria o da venti impetuosi. Tutte le nebbie che si generano alla superficie della terra, ne' luoghi umidi, entro le valli, sulle colline, intorno alle cime delle montagne coperte di neve, sono portate dal vento senza esser disperse. Ma le nubi possono eziandio avere un' altra origine: possono nascere direttamente in seno all' aria, tanto per lo incontro di due venti umidi diversamente caldi, quanto per lo condensamento de' vapori che copiosi elevansi in quelle regioni che son troppo fredde per contenerli nello stato di elasticità.

Generalmente si crede che i vapori delle nubi sian *vescicolari*, cioè picciolissime sfere piene di aria umida, perfettamente simili alle bolle di sapone. Questi globetti si discernono benissimo ad occhio nudo nel fumo dell'acqua calda, e particolarmente delle soluzioni nere come il caffè. La loro densità deve superar quella dell' aria, attesa la pellicola liquida che ne forma l' invoglio, ed è difficilissimo l' intendere come mai malgrado il loro eccesso di gravità specifica restino nuotanti nell' aria. Gay-Lussac crede che le correnti di aria calda che di giorno continuamente dalla terra si elevano, abbiano una grande efficacia per elevare le nubi e mantenerle librate nell' aria. Fresnel supponeva che il calorico solare assorbito dalle nubi le renda quasi come de' globi alla Montgolfier che vanno tanto più in alto per quanto più grande è l' eccesso di temperatura. Queste due cagioni sono certamente molto efficaci, ma noi abbiamo finora pochi dati sulla vera costituzione delle nubi e sulle proprietà dei vapori de' diversi elementi che le compongono per poter dare una compiuta spiegazione di questo fenomeno. Con maggior ragione potremmo appena presentare delle congetture più o meno avventurate sulle cagioni che generano la forma delle nubi, la loro estensione, la loro elevazione, il loro colore, le loro apparenze tanto svariato di cui è mestieri che i meteorologisti facciano uno studio particolare (1).

(1) Il Sagey nella sua Fisica del Globo, dimostra che i vapori delle nubi non sono vescicolari. Va poi in altro modo rendendo ragione del tenersi le nubi nell' aria senza cadere. Supponghiamo, egli dice, che una picciola goccia, per esempio a 5°, scenda da una nube per proprio peso: essa cadendo

DELLA PIOGGIA, DELLA NEVE, DEL GELICIDIO, DELLA GRANDINE MINUTA E DELLA GRANDINE GROSSA.

523. La quantità di *pioggia* che in ogni anno cade sulla terra è un elemento meteorico la cui determinazione è importantissima. Gli strumenti a questo fine ordinati si chiamano *udometri*, ed alcuni li chiamano anche *pluviometri*. La figura 383 rappresenta l' udometro comune: esso è un cilindro di rame di 5 o 20 centimetri di diametro; è composto di un recipiente *a* e di un riserbatoio *b*. Il recipiente ha un fondo conico bucato nel mezzo, e va messo a guisa di baionetta sul riserbatoio. Nel fondo di questo incomincia un tubo, che piegandosi a gomito si eleva verso la parete esterna, dove si unisce ad un tubo di vetro *d* graduato in parti eguali, il quale fa vedere l' altezza dei liquido interno. La superficie del recipiente *a* si misura perfettamente; si misura il serbatoio *b* per conoscere la quantità di liquido che corrisponde alle diverse divisioni del tubo *d*; fatto questo è agevole il concluderne la *quantità di pioggia*, cioè la *grossezza della falda* che avrebbe generato nel fondo piano ed orizzontale di un vase.

L' udometro dell' Osservatorio di Parigi è dinotato dalla figura 384. Il recipiente è in *a*, il riserbatoio in *b*, l' acqua passa dal recipiente nel riserbatoio per lo tubo *d*; poco più sotto del riserbatoio sta una vaschetta cilindrica con ogni diligenza misurata, e dalla parte interna graduata in modo da far conoscere in centimetri l' altezza del liquido. Il recipiente ha 76 centimetri di diametro, e la vaschetta 24, in modo che la sua superficie è la decima parte di quella del recipiente. Si adoperano eziandio dei piccioli vasi graduati per conoscere delle picciole frazioni. Questo strumento sta collocato nel mezzo del cortile dell' Osservatorio sopra un assetto di legno di quercia, ch' è una maniera di armadio in cui stan chiusi il riserbatoio, la vaschetta ed i vasi graduati.

Un simile strumento sta posto sul verone dell' Osservatorio; il recipiente di questo sta per 28 metri più alto di quello del cortile: entrambi sono perfettamente liberi e scoperti.

Ecco i risultamenti delle osservazioni fatte dal 1817 mercè questi due strumenti:

Tavola delle quantità di pioggia, in centimetri, raccolte all' Osservatorio di Parigi nel 1817.

Anni	Nel cortile	Sul verone	Anni	Nel cortile	Sul verone
1817	57	51	1828	63	59
1818	52	43	1829	59	56
1819	59	62	1830	61	57
1820	43	38	1831	61	53
1821	65	58	1832	53	45
1822	48	42	1833	59	50
1823	52	46	1834	46	42
1824	65	57	1835	49	44
1825	52	47	1836	71	61
1826	47	41	1837	52	55
1827	58	50	1838	60	52

attraverserà l' aria a 6, poi a 7°, ad 8°, ec., e siccome quest' aria più calda non è satura di vapori, così questa goccia dovrà passare allo stato elastico. In tal modo i vapori delle nubi cadendo son dissipati. Ma dopo passata la goccia allo stato elastico, ascende di nuovo ed è un' altra volta condensata. L' equilibrio dunque regna nel totale della nube, e non in ciascuna delle parti; è questa una maniera di *equilibrio mobile*, di cui si hanno in fisica esempli non pochi. Per la qual cosa la nube dinota un' altezza dell' atmosfera in cui il vapore giunge al massimo di forza elastica. Tutto il vapore dunque che trovasi tra la nube e la terra non è, nè può arrivare al suo massimo: esso perciò si eleva e si condensa, ricade e torna elastico, poi sale di nuovo per ridursi in gocce, ec. Ecco perchè le nubi per lo più hanno una superficie eguagliata dalla parte di sotto, e solo dalla parte di sopra si possono irregolarmente accumulare. In queste ricerche non si dovrebbe mai perdere di vista l' elettricità.

La media del cortile è di 57 centimetri e sul verone di 50; varie cagioni si sono assegnate di questa differenza, ma tutte lascian molto a desiderare.

Gli osservatori non debbono solo determinare la quantità media di pioggia, ma debbono anche trovare le medie mensili, perchè queste hanno molta efficacia sulle ricolte. La differenza tra la temperatura dell'aria e quella della pioggia è anche cosa degna di particolare attenzione.

Nè è meno da por mente alle copiosissime pioggie; imperciocchè dalle circostanze che le accompagnano si può andare investigando le vere cagioni del generarsi della pioggia, e forse anche i principî della formazione delle nubi.

Ricorderemo sul proposito alcuni fatti notevoli:

A Bombay in un sol giorno caddero 6 pollici ovvero 16 centimetri di acqua; a Cayenna in 10 ore di tempo caddero più di 10 pollici o 28 centimetri d'acqua. A Genova durante un diluvio originato, a quel che pare, da una tromba, caddero nel 25 ottobre del 1822 fino a 30 pollici ossia 82 centimetri d'acqua; e questo è uno de' più maravigliosi avvenimenti di questo genere.

Pochissime cose sappiamo sulla formazione della *neve*: non si sa se le nubi ond'essa proviene sien composte di vapori vescicolari o di piccioli diacciuoli; non si sa se i fiocchi si generino direttamente o vadan crescendo nel passar per le falde inferiori dell'aria; non si è osservata la loro temperatura, nè le circostanze onde la loro forma ed il loro volume provengono.

Le sole osservazioni compiute che abbiamo sulla neve riguardano le varie forme che i fiocchi sogliono prendere. Il capitano Scoresby ebbe occasione di fare nelle regioni polari molte importanti ricerche sul proposito; la sua opera contiene un centinaio di figure diverse, tra le quali abbiamo scelte alcune che sembravano più degne di osservazione; esse veggonsi nella tavola XXXI (*fig. 585*).

Keplero o molti altri fisici avevano già raccolte simili osservazioni.

La *grandine minuta* che in ogni anno abbiamo occasione di osservare ne' nostri climi, ne' mesi di marzo e di aprile, da una causa somigliante a quella della neve sicuramente proviene. Essa è anche di acqua congelata o piuttosto di aghi di ghiaccio stretti ed intralciati a forma di palla compatta, circondata sovente di un vero ghiaccio trasparente. Nulla finora sappiamo delle cagioni di questo fenomeno.

Il *gelicidio* è una falda di denso ghiaccio sottile e trasparente che copre la terra, e talvolta le piante, gli alberi e tutti i corpi che si trovano sul suolo. La sua cagione ci è nota: la condizione necessaria perchè accade è che l'aria sia sufficientemente calda da poter far cadere la pioggia, ed il suolo tanto freddo da poterla gelare a misura che cade. E però il gelicidio altro non è se non la pioggia che toccando il suolo si ghiaccia.

La *neve rossa* che si trova nelle regioni polari ed in tutti i luoghi dove le nevi sono perenni, deve il suo colore alla vegetazione di un piccolo fungo (*uredo nivalis*), il quale ha la proprietà di vegetare nella neve, siccome per esperienze dirette il signor Bauer ha dimostrato.

La *grandine* è uno dei più terribili flagelli per le proprietà agricole ed uno dei fenomeni che più confonde i meteorologisti.

Riferiremo da prima tutte le osservazioni precise che sonosi fatte sulla grandine e sulle circostanze che l'accompagnano; indi esporremo le ipotesi meno inverosimili che sonosi escogitate per render ragione della formazione di essa. Ci gioveremo sul proposito di un importantissimo articolo pubblicato da Arago nell'*Almanacco dell'ufficio delle longitudini* dell'anno 1828.

La grossezza più comune della grandine è quasi eguale a quella di una nocciuola: spesso è più piccola, ed allora richiama meno l'attenzione, perchè è generalmente poco nociva, ma spesso ne cade assai grossa, la quale rompe e devasta tutto ciò che colpisce alla superficie della terra. Noi lasceremo da banda i racconti degli storici e dei cronisti; non direm con essi che sotto Carlomagno fu visto la gragnuola di quindici piedi di lunghezza ed undici di grossezza, o che sotto il regno di Tippo-Saeb ne cadeva della grossezza degli elefanti: imperciocchè se queste esagerazioni cronologicamente non vanno fino ai tempi favolosi, si può dire che vi vadano scientificamente. Ma attenendoci ai fatti bene osservati, noi ritroveremo ancora le grandine di maravigliose dimensioni. Quelli che riferiremo possono esser considerati come perfettamente autentici, imperciocchè la loro varietà è garantita da fisici conosciuti.

Halley narra che il 9 aprile del 1697 cadde nel Fhistshire della gragnuola che pesava cinque once.

Roberto Taylor nel 4 maggio del 1697 misurò nell'Hartfordshire della gragnuola il cui

contorno era di quattordici pollici, cioè di quattro pollici di diametro.

Parent nel 15 maggio del 1703 vide al Iliers nel Percese della grandine grossa quanto un pugno.

Montignot raccolse nell' 11 luglio 1753, a Toul, gragnuola di tre pollici di diametro.

Volta ci assicura che nella notte del 19 al 20 agosto del 1787 tra l'enorme quantità di grandine che devastò la città di Como e i suoi dintorni ne trovò di quella che pesava nove once.

Tessier riferisce che nel 13 luglio del 1788 in quella orribile procella che traversò la Francia ed i Paesi-Bassi ci trovò grandine di 8 once.

Il dottor Noggerath dice che nel 7 maggio del 1822 cadde a Bonn gragnuola che pesava 12 in 13 once.

Queste testimonianze bastano senza dubbio a fermare come un fatto irrefragabile che in vari paesi sia caduta grandine del peso di oltre mezza libbra.

La forma della gragnuola è assai varia: ve n' ha della rotonda, della depressa, e talvolta anche angolata, ovvero che presenta alla superficie delle prominenze assai spiccate.

Le osservazioni sull' interna struttura della grandine sono importantissime, imperciocchè esse posson guidarci alla investigazione delle cause che generano il progresso della congelazione; ma ciò che finora da esse abbiamo imparato riducesi alle osservazioni che seguono.

Verso il centro della grandine trovasi generalmente una maniera di nocciuolo opaco somigliantissimo a quella neve ond' è formata la grandine minuta (*fig.* 386, n.° 1 e 4).

Intorno al nocciuolo altro non osservasi, il più delle volte, se non che una massa ghiacciata più o meno densa e molto diafana.

In questa massa talvolta distinguonsi delle falde trasparenti (n.° 1 e 4). Altre volte si posson contare molte alternative di falde diafane ed opache (n.° 2, 3 e 6): queste circostanze meritano tutta l' attenzione degli osservatori.

Trovasi finalmente alcune volte la grandine di una composizione *radiata* partendo dal centro (n.° 5): questa notevole composizione circonda talvolta l' interna struttura, la quale è visibilmente concentrica. Queste importanti osservazioni appartengono al Delcros, il quale ebbe occasione di farle il 4 luglio del 1819 in una procella notturna che devastò molte provincie occidentali della Francia.

Il dottor Eversman riferisce che nel 1825 in una orribil procella che coprì Ordenbourg e le vicine contrade fu raccolta della grandine nel cui centro o nocciuolo trovavasi una specie di pirite di forma quadrangolare.

Da molto tempo io pensava essere importantissima cosa il determinare la temperatura della grandine nel momento in cui cade. Io avea avuto occasione di far solo due osservazioni di questa natura prima del 1829, le quali mi avevano dato 3° e 4° al di sotto dello zero. Feci poi altre osservazioni, dalle quali ebbi $-\frac{1}{2}$, $-1°$ e $-3°$: queste ultime temperature appartengono alla gragnuola grossa come noci che devastò il dipartimento di Senna - ed Oise nella state del 1839.

Dopo queste osservazioni intorno al volume, alla forma ed alla struttura della gragnuola, diremo ciò che si sa delle diverse circostanze che accompagnano o precedono la caduta di questo flagello.

La grandine viene ordinariamente dalle pioggie procellose; essa talvolta l' accompagna, e sempre o quasi sempre la segue, specialmente quando queste pioggie hanno una certa durata.

Essa cade per poco tempo, spesso per alcuni minuti, e di raro per un quarto d' ora.

Prodigiosa è la quantità di ghiaccio che in sì breve tempo cade dalle nubi; spesso ne vedi la terra coperta per una falda di parecchi pollici grossa.

Niente diremo qui dei danni che cagiona; essa è come scaglia che viene dal cielo, opera pel suo peso e per la spinta che ha ricevuta dal vento, imperciocchè par certo che non riceva alcun impulso straniero. La gragnuola grossa mezza libbra o almeno alcune once, con velocita quasi eguale a quella del vento, intendesi quali danni debba sulla terra arrecare.

La grandine, a quel che pare, cade più spesso di giorno che di notte.

Le nubi, che la recano, sembrano essere molto lunghe e grosse, perchè sono generalmente assai oscure; alcuni pretendono aver osservato che esse hanno un particolar colore bigio o rossastro, e che nello stesso tempo abbiano dalla parte di sotto enormi prominenze, e gli orli come stracciati.

Parecchi osservatori credono che coteste nubi siano generalmente poco elevate; ma le ragioni che ne danno non mi sembrano del tutto concludenti. Spesso gli abitanti di alte colline veggono al di sotto di essi le nuvole che coprono le valli di grandine: in questi casi la poca elevazione delle nubi è certa, anzi si ha in tal modo la giusta misura della loro altezza: ma in altri casi pare più difficile il

giudicar della loro giacitura per lo tempo che passa, siccome talvolta si suole, tra l' apparir del lampo e l' udir del tuono, imperciocchè lo scoppio può accadere al di sotto delle nubi che recano la grandine, anzi può dirsi che ciò accada spessissimo per cagione di quelle piccole *nubi messaggiere*, che quasi sempre si veggono in tempi di procelle, e che passan veloci sotto alle nubi principali.

Se su questo punto v' ha dell' incertezza, non par che ve n' abbia sopra un altro fenomeno che la caduta della grandine di pochi momenti e talvolta anche di alcuni minuti precedet esso è un particolar rumore che ascoltasi nell' aria, simile a quello che farebbero de' sacchi di noci che a vicenda con forza si urtassero.

La grandine è accompagnata *sempre* da fenomeni elettrici: talvolta odi il tuono prima del rumore di cui di sopra è detto, e talvolta anche nello stesso tempo o anche mentre la grandine con la sua precipitosa caduta devasta la terra.

Per dare ora un' idea dell' estensione di cielo e di terra che questo tremendo flagello può occupare, e della velocità con cui può propagarsi, riferiremo qui alcuni particolari della famosa procella che nel 13 luglio del 1788 devastò la Francia e l' Olanda. Questa procella è certamente la più calamitosa e la più spaventevole che siasi veduta ai nostri climi, e forse anche quella che sia stata meglio osservata (*Mem. de l' Academie des Sciences*, 1790, *pag.* 263).

La procella si propagava simultaneamente sopra due zone quasi parallele, una orientale, occidentale l' altra.

La prima era più stretta: la sua maggiore larghezza era di cinque leghe, la minore di mezza lega, e la media di due leghe ed un quarto. La seconda era più larga: la sua maggior larghezza era di cinque leghe, la minore di tre, e la media di quattro.

Esse eran separate da una zona che ebbe solo copiosa pioggia, la cui maggior larghezza era di sette leghe e mezzo, la minore di tre, e la media di cinque leghe ed un quarto.

All' oriente della zona orientale ed all' occidente della occidentale vi fu anche copiosa pioggia, ma in una larghezza non determinata.

Coteste zone erano alquanto tortuose, ma la loro direzione generalmente andava da sud-ovest a nord-ovest. Una linea retta tirata da Amboise a Malines formava quasi il mezzo della zona orientale, un' altra retta tirata dallo sbocco dell' Indre nella Loira fino a Gand segnava quasi il mezzo della zona occidentale.

In tutta questa lunghezza, che era di cento leghe per ciascuna zona, la procella non ebbe alcuna interruzione, anzi, secondo precise informazioni, si può conchiudere che la procella siasi estesa per cinquanta leghe verso sud ed altrettante verso nord, il che dà a ciascuna zona una lunghezza totale di più di dugento leghe: la lega è di 2300 tese.

Tutti i punti di questa immensa estensione furon nello stesso tempo colpiti; imperciocchè dal confronto delle ore si conobbe che la procella aveva camminato con grandissima velocità dai Pirenei ove sembra di aver avuto nascimento fino al Baltico in cui fu perduta di vista.

La sua velocità era di 16 leghe ad ora sulle due zone, sebbene l' orientale andasse alquanto più innanzi dell' occidentale. In ciascuna lega la grandine cadde solo per sette o otto minuti.

La gragnuola non avea la stessa forma: ve ne era della rotonda, ve ne era della lunga ed acuminata; la più grossa pesava otto once.

1039 parrocchie furono devastate nella Francia: il danno, secondo informazioni avutene dalle potestà civili, fu estimato di 24690000 franchi.

Fra tutti i fenomeni conosciuti, questo ci presenta il più maraviglioso esempio e delle forze che operano per ragunare e per tenere notanti nell' aria i vapori aquei, e di quelle che operano per generare in mezzo agli estivi calori un subito raffreddamento in diverse regioni dell' atmosfera.

Avendo fatto conoscere quello che si sa degli effetti e della efficacia della gragnuola, presenteremo ora in poche parole le opinioni che si hanno per rispetto alle sue cagioni. Nel rendere ragione della grandine si presentano due difficoltà, ma così gravi che, possiam dirlo da prima, rimangono superiori agli sforzi fatti per superarle.

Si cerca di sapere prima di tutto come si generi il freddo che agghiaccia l' acqua; e poi come la grandine, acquistato un volume da poter pel proprio peso cadere, resti ancor sospesa in aria finchè non abbia acquistato un volume di 12 in 15 pollici di circonferenza.

Intorno alla prima quistione il Volta pensò, che i raggi solari nel colpire la parte superiore di densissima nube, son quasi interamente assorbiti, d' onde ne risulta una rapidissima evaporazione dalla quale nasce tanto freddo da gelare l' acqua. Ma si può

dire, e pare che il Bellani l' abbia detto il primo, che quando il liquido svapora per lo calorico ricevuto per contatto o per lo calorico irraggiato, la sua evaporazione non può diventare più rapida senza che la sua temperatura si elevi, o in altri termini un liquido non può nello stesso tempo ricever calorico e raffreddarsi di più senza che v' intervenga un'altra cagione.

Dopo si è anche detto, ma in modo troppo vago, che il freddo è generato dal vento. Questa idea merita di esser presa in considerazione. Abbiamo infatti veduto esservi dei venti accompagnati sempre da un raffreddamento più o meno considerabile, e questi sono precisamente quelli che abbiam chiamati *venti di aspirazione*. È un fatto che essi possono sulla terra generare un abbassamento di 17°, e però non è a dubitare che nelle più alte regioni non ne possano far nascere anche maggiore. I meteorologisti debbono dunque por mente a questo fatto, affin di accertarsi se i venti che recan le nubi della gragnuola siano o pur no di aspirazione. Se il freddo della grandine non ha questa origine, la difficoltà resta intera, ed è mestieri cercare altre vie per risolverla.

Sulla seconda quistione propose il Volta un' altra teorica, la quale non ebbe molta celebrità, ed è veramente assai ingegnosa. Supponendo che i nocciuoli della grandine sian formati, e che siavi un freddo bastante per ingrandirli, il Volta immagina che due grandi nubi dotate di opposte elettricità si trovino l' una al di sopra dell' altra; allora la grandine ancor picciolissima cadendo sulla nube di sotto dovrà provare due effetti: 1° penetrando fino ad una certa profondità si coprirà di una nuova falda di ghiaccio, perchè la temperatura è bassissima; 2° essa si elettrizzerà della stessa elettricità della nube, e sarà da questa *respinta* nell' atto che è *attratta* dall' altra nube di sopra. In tal modo salendo contro il proprio peso, giungerà alla nube di sopra, dove proverà due analoghi effetti; indi ricadendo sulla nube inferiore sarà di nuovo respinta verso la superiore, e potrà così far più gite, siccome vedesi nell'esperienza da noi altrove descritta (*fig.* 296), tav. 16. Ma dopo un certo tempo, o che la grandine siasi fatta troppo grossa, o che le nubi abbian scemata la loro forza elettrica; o che sian menate dal vento a soverchia distanza, la cagione che manteneva la grandine nell' aria non sarà più bastante, e si vedrà precipitosamente cadere quasi in massa.

Il Volta cercò anche di additare le cagioni che possono far trovare due nubi l' una sopra l' altra e cariche di elettricità contrarie; egli la trovava: 1° nella virtù che poneva nei raggi solari di generare una subita evaporazione; 2° nella virtù che poneva nei vapori di elettrizzarsi negativamente nel formarsi e positivamente nel condensarsi. Secondo queste ipotesi ei credeva che al di sopra di un nugolone colpito dal sole elevar si dovesse una colonna di vapore elastico carico della stessa elettricità della nube, e che questo vapore giungendo ad un' altezza tale da condensarlo si condensasse di fatto per formare una nuova nube carica di elettricità contraria. Queste ipotesi non reggono; ma siccome è un fatto che le nubi procellose sono or positive or negative, e siccome il moto di *va e vieni* della grandine si adagia solo sopra questo fatto, resta a vedere se in sè stesso è possibile. Molte obbiezioni sonosi fatte contro questa possibilità; parecchie sono mal fondate, ma le due che seguono mi sembrano di grave momento.

1° Come mai una forza elettrica che non opera in modo pronto ed istantaneo può elevare un pezzo di ghiaccio di mezza libbra? Come mai tra questo pezzo e la nube la scintilla non iscoppia? Pare per questo che l' elettricità dovrebbe avere proprietà diverse da quelle conosciute.

2° Se le due nubi sovrapposte son fortemente elettrizzate, come debbono essere per potere innalzare masse così pesanti, e se la grandine sale e scende nello spazio che le separa, come mai l' elettricità non passa in una volta dall' una all' altra nube? La grandine non formerà tra le nubi una specie di catena di comunicazione che agevola moltissimo la scarica, siccome vedesi anche nelle stesse sperienze che si fanno, per imitare la grandine, con le palline di sughero? (1)

Se queste obbiezioni non valgono a distruggere la teoria del Volta, possono almeno rivocarla in dubbio, e far conoscere agli osservatori che conviene farè altre ricerche per giungere al vero.

Un' altra teoria troviamo accanto a quella del Volta. Si può supporre che il vento generando il raffreddamento, trasporti anche la grandine orizzontalmente o almeno molto ob-

(1) Contro l' ipotesi del Volta molte obbiezioni sono state fatte dal Bellani, il quale in altra guisa va rendendo ragione del fenomeno: vedi le sue memorie negli Opuscoli matematici e fisici di Milano.

bliquamente nell' atmosfera; che in tal modo percorra 15 o 20 leghe; e che non sia necessario star molto tempo in mezzo a nubi densissime e molto fredde per arrivare a quella enorme grossezza con cui cade talvolta. Si avrebbe così una sola cagione dalla quale la grandine prenderebbe origine ed incremento. L'elettricità che sempre questa meteora accompagna, sarebbe effetto e non cagione; imperciocchè non si può immaginare un sì grande radunamento di vapori che vanno a comporre la grandine, senza svolgimento di copiosa elettricità; e per fermo le nubi che vanno a condensarsi là dove la grandine si genera, portano già un' elettricità positiva o negativa, la quale è forza che acquisti molta tensione per effetto del condensamento.

È mestieri dunque concludere, il fenomeno della gragnuola essere tuttavia involto di tenebre, e doversi fare ancora molte e buone osservazioni per poterlo dichiarare in tutti i suoi particolari (1).

Pioggie di sangue, di cenere, ec. Per dare un'idea delle circostanze che tali meteore talvolta accompagnano, sceglieremo per esempio la pioggia rossa che nel 14 marzo del 1813 cadde in Calabria nel Regno di Napoli. Sementini dà contezza di questo fenomeno nei seguenti termini:

» Nel 14 marzo del 1813 per un vento di est che da due giorni soffiava, gli abitanti di Gerace videro una densa nube venire dal mare verso la terra ferma. Alle due ore della sera il vento era cessato; ma la nube già copriva le vicine montagne e cominciava ad impedire la luce del sole; il suo colore, da rosso pallido che era, divenne rosso di bragia. La città fu allora involta in tenebre sì dense, che verso le quattro fu forza accendere i lumi entro le abitazioni. Il popolo atterrito dall' oscurità e dal colore della nube, corse in folla al Duomo a far pubbliche preci. L' oscurità intanto cresceva, ed il cielo parve tutto di ferro rovente; il tuono cominciò a scrosciare, ed il mare, sebbene lontano sei miglia dalla città, accresceva lo spavento co'suoi muggiti: allora cominciarono a cadere grosse gocce di pioggia di color rossiccio, che alcuni di sangue ed altri di fuoco credevano. Al venir della notte finalmente l' aria cominciò a rischiararsi, i lampi ed i tuoni cessarono, ed il popolo tornò all' usata quiete.

» Senza popolare tumulto, con più o meno notevoli differenze, lo stesso fenomeno di una pioggia di polvere rossa apparve non solo nelle due Calabrie, ma eziandio nell' estremo opposto degli Abruzzi.

» Questa polvere è di color giallo cannella, ed ha un sapore di terra poco distinto: essa è untuosa al tatto per la sua grande sottigliezza, e quantunque al microscopio vi si osservino dei piccoli corpi duri simili al pirosseno, pure questi sono stranieri alla polvere, e sonosi ad essa mescolati per caso quando è stata sul terreno raccolta. Col caldo, prima si fa bruna, poi perfettamente nera, e finalmente se si riscalda di più si arroventa. Dopo il riscaldamento anche ad occhio nudo vi si veggono molte piccole lamine brillanti, le quali sono di mica gialla: essa allora non fa più effervescenza con gli acidi, ed ha perduto un decimo del suo peso. La sua gravità specifica, quando è separata dai corpi duri, è di 2,07; essa è composta di silice 33,0, allumina 15,5, calce 11,5, cromo 1,0, ferro 14.5, acido carbonico 9,0. La perdita deriva da una materia resinosa di color giallicciо, che si ricava trattando la polvere con l' alcool e facendola evaporare fino al secco; il residuo che si ha, eguaglia quasi la perdita che si è avuta nell' analisi. Questa materia resinosa dà alla polvere la virtù di ardere col nitro. » (*Giorn. di Fisica ec., decade seconda*, I, 28).

CAPO III.

DELLA LUCE METEORICA.

524. Le meteore che appartengono alla luce son troppo numerose e svariate, e però non possiamo minutamente discorrerne in quest' opera elementare. Diremo dunque solo di quelle la cui teorica è bastantemente compiuta.

MIRAGLIO.

525. *Miraglio osservato in Egitto.*—Guardando gli obbietti lontani, non di rado interviene, in certe congiunture, che questi obbietti diano più immagini dritte, oblique o rovesce, e sempre più o meno alterate nei loro dintorni. L'apparenza di queste immagini appunto, senza un corpo di riflessione visibile, genera il fenomeno del *miraglio*.

(1) La teoria di Alessandro Volta fece sperare che si potesse liberare dalla grandine un' estensione di terreno, mercè molte punte deferenti elevate ad una certa altezza, poste in comunicazione tra loro e col suolo; ma pare che l' esperienza non abbia perfettamente corrisposto alle aspettative, ed i *paragrandine* perciò non sonosi moltiplicati. V. il *Propagatore ec.*, e le memorie del Bellani sul proposito.

Diremo prima come questi fenomeni nelle pianure dell' Egitto appariscono.

Il territorio del Basso Egitto è un' ampia pianura sulla quale il Nilo nei tempi d'inondazione spande le sue acque. Sulle sponde del fiume, e fino ad una gran distanza dalle medesime verso i deserti, tanto dalla parte di oriente quanto dalla parte di occidente, trovansi alcune piccole alture sulle quali stanno le case o i villaggi. L'aria ordinariamente vi è tranquilla e serena: allo spuntare del sole gli obbietti lontani veggonsi perfettamente chiari; la vista allora comprende un vasto orizzonte, il quale non ostante la sua uniformità non riesce punto monotono; ma quando il caldo del giorno si avanza, quando la terra è infocata dal sole, le falde inferiori dell' aria ne vengono anche riscaldate, e ne nascono molte più o meno regolari correnti; succede quindi nell'aria una specie di tremolio ondulatorio che l' occhio facilmente ravvisa, e gli oggetti lontani cominciano a comparire mal terminati, e ad ogni momento par che si rompano e poi si riuniscano. Questo fenomeno, che si osserva anche nei nostri climi in tempo dei caldi estivi, non è ancora il miraglio. Se non soffia vento, e se le falde d'aria che stan sulla terra restano immobili mentre toccando il suolo si riscaldano, allora il fenomeno del miraglio si mostra in tutta la sua magnificenza; l' osservatore che guarda da lungi vede ancora le alture, i villaggi e tutti gli obbietti più alti; ma al di sotto di questi ne vede le immagini rovesce senza vedere il suolo in cui stanno. Per la qual cosa tutti gli obbietti elevati compariscono come se si trovassero in mezzo di amplissimo lago, e l'aspetto del cielo viene a render compiuta questa illusione, imperciocchè esso vedesi come vedrebbesi per riflessione in un acqua perfettamente stagnante: in ragione che si va innanzi, si scopre il suolo e la terra infocata nello stesso luogo in cui vedevasi la immagine del cielo o di qualche altro oggetto; più innanzi si vede per altro la stessa scena in diverso aspetto. Questo fenomeno fu spesso osservato in tempo della spedizione dell' esercito francese in Egitto. Esso era pei nostri soldati un nuovo spettacolo ed una crudele illusione. Quando essi da lungi, sulle ardenti pianure, vedevano le immagini riflesse del cielo, delle case, delle palme e di tutti gli obbietti che eran sull' orizzonte, eran certi che queste immagine fossero riflesse ad una certa distanza dalla superficie di un lago. Stanchi per marce sforzate, sotto l'ardore del cielo, in un' aria polverosa, correvano verso il lido, ma questo lido fuggiva innanzi a loro; era l' aria infocata della pianura che prendeva l'apparenza dell' acqua, o che dava quell' immagini riflesse del cielo e di tutte le alture. I dotti della spedizione spettatori di questo fenomeno, ebbero, come tutto l' esercito, un momento di illusione, ma fu breve: Monge ne scoprì tosto la cagione, e la dichiarò in tutti i suoi particolari. Questo, siccome vedremo, è un effetto di speciale rifrazione.

526. *Spiegazione del miraglio.* — Supponghiamo che *ab* rappresenti la superficie orizzontale del suolo (*fig.* 394): l' esperienza dimostra che, per effetto del calorico, le falde inferiori dell' aria possono prendere una densità che cresce con le altezza, ma fino ad un certo termine in cui divien quasi uniforme, per cominciar poi di nuovo a decrescere secondo le solite leggi della formazione dell' atmosfera. Ciò posto, immaginiamo un punto elevato *h*, e vediamo come la sua luce deve essere modificata prima di giungere all' occhio dell' osservatore che supponghiamo in *p*. È chiaro prima di tutto che l'occhio vedrà un'immagine diretta del punto *h* pe' raggi vicini a *ph*: questi raggi veramente non vanno perfettamente in linea retta, perciocchè tra *p* ed *h* l' aria non ha assolutamente la stessa densità; ma essi patiranno appena piccole inflessioni, dalle quali deriva solo una certa irregolarità nei dintorni delle immagini.

Ma tra i raggi che partono dal punto *h*, ve ne saran di quelli che andran per *h i k l m n o p*, i quali in conseguenza daranno, nella direzione *pox*, un' immagine rovesciata dell'oggetto, come se vi fosse riflessione in uno specchio. E per fermo, il raggio *hi*, per esempio, venendo obbliquamente per attraversare la falda *c' meno rifrattiva* della falda *c* in cui si trova, deve rifrangersi *allontanandosi* dalla perpendicolare. Per la stessa ragione deve allontanarsi anche dalla perpendicolare passando dalla falda *c'* nell' altra *c''*, e così passando da questa nell' altra seguente. Onde l' obbliquità crescendo continuamente, potrà darsi benissimo che il raggio non possa più passare dal mezzo più rifrattivo in cui trovasi nel meno rifrattivo che incontra: ed allora dovrà riflettersi, e continuando il suo cammino verso l'occhio, vi giungerà per la direzione *mnop*; l'occhio dunque vedrà il punto *h* nella direzione *pox*, e in una positura quasi simmetrica al punto *h* per rispetto al piano *mv* sul quale si suppone che la riflessione siesi compiuta.

Il cammino del raggio si è segnato con una linea angolata; ma siccome la densità va crescendo per gradi insensibili, così intendesi che il raggio dovrà piegarsi insensibilmente, e però

la sua trajettoria sarà una curva, e non già una linea angolata.

Con questo principio il Monge rendette ragione del miraglio mentre ne era spettatore: ei vi scrisse una memoria che fu pubblicata in quelle dell' Istituto di Egitto.

Ecco un' esperienza la quale, quantunque assai debolmente imiti il miraglio, pure può giovare a farne comprendere la spiegazione. *nod'* (*fig.* 393) è una cassa di latta di circa un metro di lunghezza e di 15 o 18 centimetri di larghezza e di altezza; si riempie di carboni accesi, si sospende all' altezza dell' occhio, e per un raggio visuale che vada rasente gli orli della cassa si prenda di mira uno scopo alquanto lontano, per esempio *m*. Allora si vedrà un' immagine diretta dello scopo nella direzione *pm*, ed indi un' altra rovescia nella direzione *pm'*. Questa seconda immagine precisamente è analoga alle immagini rovesce del miraglio; essa, siccome è chiaro, deriva dalla riflessione della luce sulle falde d' aria riscaldate dalle pareti della cassa, e non da una riflessione che avrebbe luogo sulle pareti stesse. È indifferente per la riuscita dell' esperienza che il raggio visuale rada una parete laterale o la parete superiore.

Wollaston ha del pari ideata un'esperienza con la quale il miraglio si genera in un liquido. Si prende un piccol vaso di cristallo di figura cilindrica o prismatica quadrangolare, vi si pongono l' un sopra l' altro con molta diligenza due liquidi d' inegual densità che possano lentamente combinarsi verso le superficie con le quali si toccano: l'acqua e l'acido solforico; l' acqua e l'alcool, l' acqua e lo sciroppo di zucchero ben concentrato, possono servire allo scopo. Quando la combinazione è accaduta parallelamente in una falda di conveniente grossezza, si avvicina l'occhio di rincontro alla medesima per guardare un piccolo scopo messo sull' opposta parete, e si vedrà anche una immagine diritta ed un' altra rovescia del sopraddetto scopo.

527. *Fenomeni di miraglio osservati in luoghi e congiunture diverse.* — Il dottor Vince ha osservato a Ramsgate un notevole effetto di miraglio. Quando da Ramsgate si guarda verso Dover, si veggono nelle buone giornate le cime di quattro torri più alte del castello di Dover; il restante dell' edifizio rimane nascosto dietro una collina la cui cima trovasi alla distanza di quasi 12 miglia dall' osservatore; la metà di quest' spazio è occupato dalla superficie del mare. Il dottor Vince stanziato a Ramsgate circa 70 piedi sul livello del mare, restò nel dì 6 agosto 1806 fortemente maravigliato in vedere, guardando alla parte di Dover verso le sette della sera, non solo le quattro torri del castello, ma il castello intero in tutte le sue parti fino alla base. Si vedeva così bene, egli dice, come se preso in una volta fosse stato trasportato sulla collina dalla parte di Ramsgate.

Lo stesso fisico ha pubblicato molte osservazioni da lui fatte nello stesso luogo, particolarmente guardando sul mare, con un buon cannocchiale, le navi che venivan verso Ramsgate e ne partivano. Citeremo le due seguenti osservazioni.

Vide un giorno una nave perfettamente sull' orizzonte: ei la distinse con chiarezza; ma ne vedeva in pari tempo l' immagine rovescia regolarmente e verticalmente al di sopra, in modo che la cima dell' albero maestro della nave e quella dell' albero maestro dell' immagine rovesciata coincideva (*fig.* 395).

Un' altra volta, sempre nel mese di agosto, verso la sera, egli fu spettatore di un altro fenomeno: l' immagine del vascello era anche rovesciata, ma al di sotto di esso (*fig.* 396).

Il capitano Scoresby ebbe occasione di osservare molti fenomeni di questo genere nei mari di Groenlandia. In quello che il sole si mostra in quei luoghi, le falde d' aria che stanno sulle superficie della terra e del mare prendon tosto una temperatura più alta delle falde che sono a pochi piedi di altezza, e le rifrazioni straordinarie si presentano sotto le più svariate e più fantastiche apparenze.

Biot e Mathieu han fatto simili osservazioni a Dunkerque sul lido del mare nella spiaggia sabbioisa che si estende a' piedi del forte Risban. Il Biot ne ha dato la teorica compita nelle Memorie dell' Istituto per l' anno 1809; egli ha dimostrato che partendo da un certo punto *t* preso ad una debita distanza innanzi all' osservatore *o* (*fig.* 397), si può immaginare una curva *tcb* tale che tutti i punti che le sono al di sotto restano invisibili nell' atto che tutti i punti che le sono di sopra, fino ad una certa altezza, danno due immagini, una ordinaria e diretta, l' altra straordinaria, di sotto alla falda, e rovesciata. Onde un uomo che si allontani dall' osservatore partendo dal punto *t*, presenterebbe a costui le successive apparenze dinotate dalla figura 397.

Soret e Jurine, nel settembre 1818, alle ore 10 del mattino, osservarono sul lago di Ginevra il notevole fenomeno espresso dalla figura 398. La curva *abc* rappresenta il margine orientale del lago; una barca carica di botti e con le vele spiegate trovavasi in *p* di rincontro a Bellariva andando verso Ginevra;

gli osservatori la guardavano con un telescopio nella direzione *gp*; essi erano sul lido del lago nel secondo piano della casa di Jurine alla distanza di circa due leghe. Mentre la barca giungeva sussecutivamente in *g*, *r*, *s*; se ne vedea lateralmente in *g'*, *r'*. *s'* l'immagine bastantemente chiara; la quale camminando come la barca se ne allontanava verso la destra. Quando le vele erano rischiarate dal sole, l'immagine diventava tanto chiara che si potea vedere ad occhio nudo.

La direzione dei raggi solari nel momento della osservazione è indicata da *ly*.

Basta conoscere la giacitura dei luoghi per accorgersi tosto esser quello un fenomeno di *miraglio laterale*: a destra di *gp* l'aria era rimasta nell'ombra per un tempo della mattina; a sinistra per l'opposto essa era stata riscaldata dal sole; la superficie di separazione dell'aria calda e dell'aria fredda dovea essere presso a poco *verticale* per una piccola estensione al di sopra dell'acqua; dall'una e dall'altra parte di questa falda erasi fatto un mescuglio di densità crescenti andando da sinistra a destra, ed ivi accadeva nelle falde verticali ciò che ordinariamente accade sul suolo alle falde orizzontali.

Questi esempi saran sufficienti a dare un'idea delle svariatissime e singolarissime apparenze che possono risultare dalle straordinarie rifrazioni che la luce soffre nelle falde d'aria le cui densità rapidamente variano. Abbiamo supposto che questi cambiamenti accadono in falde piane e regolari; ma intendesi che essi per molte cagioni potranno avverarsi in falde curve ed irregolari; allora le immagini generate dal miraglio saranno per ogni verso trasformate, ora allargate, or molto allungate, ed ora smembrate come se l'oggetto fosse rotto in mille pezzi. Par certo che il fenomeno della *Fata Morgana* sia un effetto di miraglio. Esso osservasi a Napoli, a Reggio, e su tutte le coste della Sicilia (1); in certe ore il popolo corre in folla al lido del mare per godere di questo singolare spettacolo: si veggono a molta distanza nell'aria delle ruine di colonne, castelli, palagi ed altri obbietti i quali sembran muoversi e cambiar figura ad ogni momento. Tutto questo incanto altro non è fuorchè la rappresentazione di alcuni obbietti terrestri, i quali sono invisibili nello stato ordinario dell'atmosfera, e diventan mobili ed apparenti quando i raggi di luce che tramandano si si muovono in linee curve per le falde d'aria di diverse densità.

IRIDE.

528. *Spiegazione del fenomeno dell'iride.*— Ognuno avrà potuto notare che per veder l'iride è mestieri voltar le spalle al sole e guardare una nube che si sciolga in pioggia e sia nello stesso tempo ben rischiarata dal sole. Allora l'arco colorato che apparisce nell'aria può esser considerato come parte della base di un cono il cui vertice sia nell'occhio di chi guarda ed il cui asse prodotto dalla parte di dietro vada a passare precisamente per lo centro del sole. È agevole il rendersi certo che questa condizione si avvera sempre, tanto per un bell'arco baleno proveniente dalla pioggia delle nubi, quanto per uno meno compiuto che si vede nelle cascate o nei getti di acqua; anzi in quest'ultimo caso essa fa vedere il luogo in cui convien situarsi per vedere i colori manifestarsi in tutte le gocce nascenti dalla caduta dell'acqua e sparpagliate dal vento.

Dopo tutte queste apparenze non è da dubitare che il fenomeno non derivi da una particolare modificazione che la luce solare nelle gocce d'acqua riceve. Noi infatti vedremo che i colori che osservansi son recati all'occhio dai raggi che vengon dal sole dopo essersi rifratti, riflessi e decomposti in quelle piccole particelle acquose di figura perfettamente rotonda.

Per farsi una giusta idea del cammino dei raggi solari in un cerchio liquido, si può fare la seguente esperienza:

oo' (*fig.* 399) rappresenta un taglio orizzontale dell'imposta di una camera buja, e quello di un piccolissimo buco *o* fatto in essa imposta. Ad una certa distanza dietro l'imposta ed all'altezza del buco disponsi un vase di cristallo perfettamente cilindrico pieno di acqua; la figura esprime solo il taglio orizzontale di questo vase. Indi si fa entrare un raggio solare nella direzione *io*, e si osserva in alto il suo cammino entro dell'acqua: questo liquido non sarà mai tanto perfettamente limpido da poter rendere ben sensibile il tragitto della luce. Sarà agevole il vedere che il raggio se-

(1) La fata Morgana descritta dal Chirchiero, dal Minasi, e da molti altri, comparisce propriamente a Reggio. Pare che dallo stesso principio derivano e lo *spettro di Broken*, e l'*apoteosi del viaggiatore*, e tante altre misteriose apparizioni che ci narrano gli storici. Vedi il libro intitolato: *Prodigieuse forme de procession apparue proche la ville de Belac en Limosin l'espace de six jours comencant le 15 Avril 1621*, citato dal Minasi, ed i molti fatti riferiti da costui nelle sue *Dissertazioni sopra i fatti meno ovvii della storia naturale.*

gue il cammino 1, $a, b; c, d, e, f, \ldots$, e che in ogni incidenza sulla parete patisce ad un tempo una riflessione ed una rifrazione: per la riflessione continua il suo tragitto nel liquido, e per la rifrazione divien meno intenso, dando nascimento ai fasci emergenti a', b', c', d', e', f', ..., i quali sono spettri più o meno allargati, come se il fascio avesse attraversato un prisma. Dopo quattro o cinque riflessioni questi fasci emergenti avranno ancora un' intensione sensibile.

Ciò che accade in questo caso si ripeterà senza fallo in una goccia sferica di pioggia, per quanto piccola essa sia, imperciocchè il primo piano d' incidenza determina in questa sfera un cerchio massimo nel quale il raggio si moverà come nella sezione del cilindro dell' antecedente sperienza.

Ciò posto ecco la fondamentale proprietà d' onde la generazione dell' iride deriva. Immaginiamo un raggio che esca dopo aver sofferta una interna riflessione in b (*fig.* 400): la sua direzione di emergenza *ec* farà, con la direzione d' incidenza *sa*, un certo angolo *s'a* che noi dinoteremo con d; e questo è ciò che dicesi il *deviamento*. Se si esprima con i l' angolo d' incidenza *san* ed il suo eguale *oat*, con r l' angolo di rifrazione *oab* ed il suo eguale *oba*, si avrà evidentemente: $oba = bat + bta$, ovvero $r = i - r + \frac{d}{2}$, d'onde $d = 4r - 2i$. Or la proprietà di cui è parola consiste in ciò che il deviamento è capace di un *massima*. Questo si dimostra con le solite regole del calcolo differenziale, osservando che le quantità i ed r, le quali variano insieme, hanno tra loro la ragion dinotata dall' equazione $\operatorname{sen} i = n \operatorname{sen} r$; ed in tal modo si trova che questo deviamento *massimo* corrisponde ad un' incidenza i determinata dall'equazione $\cos^2 i = \frac{n^2 - 1}{3}$.

Riteniamo questo risultamento del calcolo, e procuriamo di far intendere come questa proprietà del *massimo* determina la generazione dei colori. Consideriamo da prima la luce rossa. Per questa tinta dello spettro, l' indice di rifrazione è $n = \frac{108}{81}$. Sostituendo questo valore nell' antecedente espressione di $\cos^2 i$, ne ricaveremo $i = 59° \, 23' \, 30''$: cioè che il raggio rosso che cade sotto questa incidenza è fra tutti i raggi rossi incidenti quello che soffre il deviamento massimo, e questo deviamento è di 42° 1' 40". Supponghiamo di aver seguato il suo cammino *sabce* (*fig.* 400), e che dopo vogliamo conoscere il cammino dei due raggi vicini, uno dei quali cade con obliquità alquanto minore e l' altro con obliquità alquanto più grande. Poichè i loro raggi emergenti *e'* ed *e''* hanno un deviamento alquanto minore di quello il *e*, egli è chiaro che sono sensibilmente paralleli ad *ec* e però il piccolo pennello composto di questi raggi emergenti si propagherà senza scemare in intensione, e potrà in tal modo generar forte sensazione sull'occhio dell' osservatore. E per contro ogni altro pennello emergente essendo composto di raggi che divergono, dovrà diventar meno intenso coll' allontanarsi, ed insensibile affatto alla distanza in cui trovasi l' occhio dello spettatore.

Questo è il principio da cui ora partiremo per render ragione colla maggior facilità di tutte le circostanze che l' iride per grandezza, per forma, e per disposizione de' colori può presentare.

Per meglio fermar le idee, supponghiamo che i raggi del sole che tramonta rischiarino una nube che si converte in pioggia, e che un osservatore sia convenientemente collocato in modo da poter guardar la nube volgendo le spalle al sole (*fig.* 401). Immaginiamo una linea retta che passi per lo centro del sole e per l' occhio dell' osservatore, la quale sia prodotta all' infinito verso l' oriente; questa linea nel caso nostro sarebbe orizzontale. Immaginiamo poi una seconda linea che tagli la prima nell' occhio dell' osservatore e faccia con essa un angolo di 42° 1' 40" e sia prodotta indefinitamente verso la nube. Supponghiamo finalmente che questa seconda linea giri intorno alla prima senza mancare alle antecedenti condizioni, e descriva così una superficie conica di cui noi abbiamo solo a considerare la metà di sopra. Questa linea in ciascuna delle sue giaciture incontrerà una moltitudine di gocce di pioggia. Ma fermiamo il nostro spensiero sopra quelle che incontra sotto l' angolo d' emergenza che dà il deviamento *massimo* della luce rossa. Sia *abc* una di queste gocce; il pennello di luce che essa riceve dal centro del sole è orizzontale e parallelo ad *oh*; tra tutti i raggi che lo compongono ve n' ha uno *sa* il quale dopo essere stato sussecutivamente rifratto in a, riflesso in b, indi rifratto in c, esce per la direzione *ce* col deviamento massimo; imperciocchè *sa* essendo parallela ad *oh*, l' angolo *ste* è di 42° 1' 40" del pari che l' angolo *eoh*.

In questa direzione dunque lo spettatore

vedrà la luce rossa dello spettro.

Quello che abbiam detto per rispetto al centro del sole, si applica a tutti i punti del disco di quest' astro; e ripetendo la stessa descrizione per ciascuno di essi, e particolarmente pei due orli opposti i quali veggonsi dalla terra sotto un angolo di 30', egli è chiaro che l'osservatore vedendo una linea rossa per ogni punto del sole ne vedrà per tutti insieme una zona la quale darà all' occhio un angolo di 30' del pari del disco stesso del sole.

Ci faremo ora a cercare la cagione degli altri colori dell' iride, non che della disposizione dei medesimi.

La luce violetta, per esempio, avendo nel suo passaggio dall' aria nell' acqua un indice di rifrazione di $\frac{109}{81}$, egli è chiaro che per essa il deviamento massimo non è lo stesso che per la luce rossa, e però che esso corrisponde ad un' altra incidenza. Mettendo invece di n questo valore nell' antecedente espressione di $\cos^2 i$, si trova $i=58°$ pel violetto e $d=40°\ 17'$.

Laonde per avere la giacitura dell' arco violetto è mestieri far passare per l' occhio dell' osservatore una linea che faccia con *oh* un angolo di 40° 17'; egli è chiaro d' altronde che la zona violetta sarà veduta come la rossa di una larghezza corrispondente a 30'.

Tutti i colori intermedi dello spettro daranno anche zone della stessa larghezza; ma esse saranno collegate tra l' altezza del rosso e quella del violetto.

Col calcolo si potrà facilmente determinare la vera giacitura di tutte queste zone, e però le tinte che debbon risultarne nel mezzo dell' iride.

Si vede dunque come ultima conseguenza di questa discussione, che tutti i colori dell' iride sono superficie coniche più o meno aperte, le quali han tutte per asse la linea che passa pel centro del sole e per l'occhio dello spettatore; che il cono del violetto è nell' interno, e fa con l' asse un angolo di 40° 17'; che il cono del rosso è all'esterno, e fa con l' asse un angolo di 42° 2'; e che la larghezza totale de' colori occupa in conseguenza 1° 45'.

Newton, ch'è stato il primo a rendere compiutamente ragione dell' iride, ha per esperienza verificati tutti questi risultamenti.

La grandezza dell' arco baleno è chiaro derivare dall' altezza del sole sull' orizzonte. Al tramontare del sole l'arco apparirà verso l'oriente, e occuperà una mezza circonferenza se lo spettatore trovasi in un piano; ma se questi stia sulla cima di un alto monte, di un picco elevato e poco largo, allora si vedrà più grande di mezza circonferenza. Allo spuntare del sole si hanno gli stessi fenomeni verso l' occidente. Più il sole sta alto sull' orizzonte, meno grande è l' arco baleno. Ma dalla cima di un grande albero di vascello, stando il sole allo zenit, un uomo potrebbe vedersi a' piedi, sul mare, un'iride dell' intera circonferenza.

Oltre dell' iride della quale abbiamo discorso, osservasi talvolta un' altra iride che dicesi *esterna* perchè circonda la prima. Essa deriva dalla luce che ha provato due riflessioni interne, siccome si può vedere sulla figura 402.

sabrd è il cammino del raggio che genera l' iride esterna; esso entra secondo *sa*, ed esce secondo *de*.

È agevole l' intendere che il deviamento *ste*, che chiameremo d', è allora dato dall' equazione: $d'=6r-2i-180°$, e che il suo massimo corrisponde ad un' incidenza determinata da $\cos^2 i=\frac{n^2-1}{8}$.

Facendo il calcolo per la luce rossa e per la violetta, si trovano i risultamenti che seguono:

Rosso $i=71°\ 50'$, $r=45°27'$, $d'=-50°\ 59'$.
Violetto $i=71°26'$, $r=44°\ 47'$, $d'=-54°9'$.

Il segno *meno* che precede i valori di d', fa conoscere che i raggi incidente ed emergente intersecansi innanzi al globetto aqueo.

E però nella seconda iride il rosso è dentro ed il violetto fuori. I colori sono allargati per 3° 10', cioè per quasi il triplo dell' iride primaria. L' intervallo compreso finalmente tra il rosso interno della seconda iride ed il rosso esterno della prima, è dato dalla differenza de' deviamenti rispettivi, è eguale cioè a 50° 59'—42° 2' ovvero ad 8° 57'.

Il Newton avea anche prese delle giuste misure, le quali rifermano queste conclusioni.

Babinet eliminando i ed r tra le tre equazioni che determinano il primo o il secondo arco, giunge alle seguenti equazioni: pel primo

$$\text{sen}^2\frac{d}{2}=\frac{(1-n^2)^3}{27n^4},$$

pel secondo

$$\cos^2\frac{d}{2}=\frac{(n^2-1)(9-n^2)^3}{64n^6},$$

le quali danno direttamente il deviamento per mezzo dell'indice di rifrazione.

Pare che in certe occasioni molto propizie, siasi talvolta veduto un terzo arco baleno, la cui luce è molto debole avendo patito molte riflessioni entro la goccia di pioggia.

529. Vi sono anche delle iridi *secondarie* o *soprannumerarie*, le quali par che derivino dalle interferenze dei raggi che hanno traversato delle gocce d'acqua con quelli che non le hanno attraversato in egual numero. Babinet rende sensibili le frange simili ai contorni dell'iridi secondarie, dirigendo un fascio di luce sopra un filetto d'acqua verticale e cilindrico di 1 in 2 millimetri di diametro.

La luna del pari che il sole può generare l'iride, particolarmente quando è piena e lucente. Ma anche in questi casi i colori dell'iride lunare sono pallidissimi per rispetto a quelli dell'iride generata dal sole.

ALONI, PARELII, CERCHIO PARELIACO, CORONE, OMBRE DIVERSE, STELLE CADENTI, AEROLITI.

530. Gli *aloni* sono cerchi colorati, col rosso al di dentro, i quali appariscono intorno al sole in certi tempi dell'anno. L'orlo interno è generalmente molto ben terminato, nell'atto che l'esterno è incerto e poco colorato. La metà dell'angolo visuale del più piccolo di questi cerchi è di 22 in 23°, e la metà dell'angolo visuale del più grande è circa 46°: di rado interviene che non si possa nello stesso tempo vedere l'alone di 23° e quello di 46°. Mariotte diè una spiegazione di questo fenomeno, la quale è stata rifermata da tutte le osservazioni: questa spiegazione si adagia sulla presenza di una quantità di piccoli aghi di ghiaccio nell'atmosfera, i quali rifrangono la luce del sole. E per fermo, il ghiaccio cristallizzato forma de' prismi triangolari le cui facce fanno tra loro angoli di 60° e sono perpendicolari alle basi. Or supponendo che questi prismi abbiano i loro assi orizzontali e che le loro facce siano opportunamente rivolte, è agevole il vedere che il *deviamento minimo* che danno ai raggi incidenti è di circa 23° per la luce rossa, perciocchè secondo la formola si ha:

$\text{sen}\,\frac{d+60}{2} : \text{sen}30 = 108 : 81$ o ad un di presso, perocchè non si conosce perfettamente l'indice di rifrazione del ghiaccio: quei raggi che han ricevuto il deviamento minimo sono analoghi ai *raggi efficaci* dell'iride, perchè sono sensibilmente paralleli e giungono all'occhio senza essere scemati in intensione. Questa ipotesi dunque fa intendere la generazione dell'alone di 23°, l'ordinamento dei suoi colori e le sue dimensioni. Arago d'altronde si è renduto certo che la luce è veramente polarizzata alla maniera della luce rifratta e non della luce riflessa.

Dell'alone di 46° si rende ragione supponendo che i prismi abbiano i loro assi inclinati in modo che l'angolo rifrangente sia allora l'angolo retto che le facce laterali fanno con la base del prisma. Ed in fatti il deviamento minimo per quest'angolo di 90°, è di circa 46°, eguale a quello dell'osservazione.

Il *cerchio pareliaco* è un cerchio bianco orizzontale *che passa pel sole*, e forma una zona assai chiara la cui altezza è eguale al diametro dell'astro: questo non sempre accompagna l'alone. Babinet considera il cerchio pareliaco come un effetto della riflessione che la luce solare patisce sulle facce verticali degli aghi di ghiaccio disposti per ogni verso: intendesi in fatti che se prendesi la verticale dell'osservatore per asse di un cono retto che abbia per retta generatrice quella che congiunge l'occhio dell'osservatore col centro del sole, sarà sempre possibile di menare per la generatrice primitiva e per un punto qualunque della base del cono, supposto nella regione degli aghi di ghiaccio nuotanti, un piano perpendicolare ad una piccola faccetta verticale che passi per questo punto della base del cono, e convenientemente *orientata* affinchè questo piano contenga gli angoli d'incidenza e di riflessione, ed affinchè questi angoli siano tra loro eguali. Rimane ora a discutere alla spicciolata le diverse apparenze del cerchio pareliaco nei suoi vari punti, ma sventuratamente le occasioni per osservarlo sono rarissime.

Il cerchio pareliaco quando è compiuto, passa per gli aloni e li divide in due parti eguali: qualche volta osservasi nello stesso tempo una zona bianca che taglia verticalmente gli aloni formando così col cerchio pareliaco una croce più o meno ben terminata entro l'alone di 23°, nel centro della quale in conseguenza trovasi il sole. Quando il fenomeno è finalmente compiuto, poco al di là dell'alone di 23°, veggonsi sulle braccia della croce vivacissime immagini colorate del sole; indi se ne vede un'altra che si chiama *antelio*

ovvero falso sole (1), perciocchè trovasi sul cerchio pareliaco nel punto diametralmente opposto al vero sole. Babinet ha cercato di spiegar tutte queste apparenze, ma non ancora ha pubblicato i particolari delle sue ricerche sul proposito (*Comptes rendus* 1837).

531. Le *corone* hanno a prima giunta l'apparenza degli aloni, ma ne differiscono essenzialmente in ciò che il *rosso è al di fuori ed il violetto al di dentro*, e la metà dell'angolo visuale della prima corona pare sempre compreso tra 1° e 2°; e prendendo questa metà di angolo per unità, quelle delle altre corone seguono la serie dei numeri 2, 3, 4, ec., siccome per molte osservazioni ha dimostrato Delezenne. Questo fenomeno pare analogo a quello delle corone che osservansi guardando il sole o una lampana con vetro coperto di polvere di licopodio. La spiegazione teorica di queste apparenze mi par che lasci ancor molto a desiderare; pure si leggerà con profitto il teorema dal quale Babinet fa dipendere la spiegazione che ne dà (*Comptes rendus* 1837). Partendo dallo stesso principio il Babinet rende anche ragione delle ombre argentate osservate da Necker di Ginevra, e dei colori dei fili di ragno ed altri corpi sottili esposti ai raggi solari sotto certe condizioni.

532. Le *stelle cadenti* hanno in quest' ultimi tempi richiamata l'attenzione di molti osservatori: si è conosciuto che esse generalmente son fuori gli estremi confini dell'atmosfera, sono spesso distanti per più di 200 leghe, e vanno con velocità che varia da 6 a 10 leghe per ogni minuto secondo; che poche sono quelle notti in cui un osservatore facendosi a guardare solo un quarto del cielo, non ne osservi almeno 6 o 8 in ogni ora; che in certi tempi dell'anno, e specialmente dall'11 al 13 novembre e dal 10 al 12 agosto il numero delle stelle cadenti è molto più grande, e prendono allora una determinata direzione. Questi fatti ci fan supporre che le stelle cadenti sian de' piccoli corpi celesti dispersi in maggior copia in certe regioni del cielo in cui velocemente si muovono, i quali si rendono a noi visibili quando la terra pel suo moto di rotazione intorno al sole si avvicina alle regioni in cui sembrano concentrarsi le orbite di questi corpi. Si può consultare sul proposito la importantissima memoria di Quetelet (*Catalogue des principales apparitions d'étoiles filantes*, 1839).

533. Gli *aeroliti*, la cui caduta è assicurata da tante autentiche osservazioni, non pare che siano senza analogia con le stelle cadenti.

Dal principio del secolo si può contare circa un centinaio di aeroliti caduti in Europa bene osservati. Si può tenere come un fatto generale che queste meteore giunte vicino alla terra presentano un globo di fuoco più o meno voluminoso, animato da gran velocità, che lascia dietro di se un' orma talvolta sinuosa distinta da un certo trascino di luce che dura per alcuni minuti secondi e talvolta anche per qualche minuto primo; questo globo, o per aria, o toccando la terra, scoppia, ed i frammenti son menati a varie distanze. Tutti i pezzi che sono stati raccolti sono interamente o in parte coperti da una crosta vitrea, e l'analisi chimica ha dimostrato che la lor composizione differisce da quella di tutti i minerali conosciuti, e che contengon sempre il ferro e spessissimo il nichel.

CAPO IV.

DELL' ELETTRICITA' ATMOSFERICA.

534. *Prima scoperta dell' elettricità atmosferica.* — Ottone di Guericke borgomastro di Magdebourg, il celebre inventore della macchina pneumatica, fu primo a scoprire qualche apparizione di luce elettrica. Il dottor Wall, quasi nello stesso tempo, osservò una scintilla più viva e molto più forte elettrizzando un gran cilindro di ambra; ed è da notare che questa prima scintilla avuta dalla mano dell' uomo fu tosto paragonata allo scoppio del fulmine: quella luce e quello schioppettio, dice Wall nella sua Memoria (*Trans. philos.*), ti rappresentano in certo modo il lampo ed il tuono. L'analogia era spiccata, non ci volea che immaginazione per vederla: ma per rendere aperta la verità, per trovare in così piccolo fenomeno la cagione e le leggi del grande fenomeno della natura, ci volean molte prove che aspettar si doveano da più solenne ingegno. Pure molti fisici andavan cercando queste prove per via di paragoni più o meno giudiziosi; alcuni osservavano che la scintilla è tortuosa come il baleno, altri pensavano il fulmine essere tra le mani della natura quello che l'elettricità è tra le nostre: » Confesso, dicea l'abate Nollet, che questa idea mi andrebbe molto a grado se potesse essere ben fermata, e per fermarla, quante speciose ragioni ec. » Ma tutto finiva a ragionamenti dai quali niente si poteva concludere, perchè in fisica solo l'esperienza è quella che deve dare le conclusioni. Mentre intorno a tale

(1) Queste immagini del sole son quelle che chiamansi *parelii*.

quistione così ragionavano i dotti di Europa e di tutto il mondo antico, in America presso un popolo giovine, appena noto nelle scienze, si facevano esperienze che direttamente risguardavano il fulmine. Franklin seppe trovar modo di far discendere lo stesso fulmine dal cielo per domandargli la sua origine. Franklin, dopo di aver fatte molte scoperte di elettricità particolarmente sulla boccia di Leida e sulla virtù delle punte; concepì l'ardimentoso pensiero di andare a cercar l'elettricità in seno alle nubi; da alcune fondate sperienze avea concluso che una verga metallica terminata a punta, portata a grande altezza al sommo di un edifizio, dovrebbe ricevere elettricità dalle nubi procellose. Aspettava con molta premura la fabbrica di un campanile che in quel tempo elevar si doveva in Filadelfia; ma impaziente di più aspettare per la brama che avea di fare l' esperienza che dovea ogni dubbio dileguare, ricorse ad altro espediente più pronto e non meno di successo fecondo. Siccome di altro non era quistione fuorchè d'innalzare un corpo nella regione del fumine cioè ad una grande altezza nell' aria: così Franklin pensò che il cervo volante o aquilone con cui i fanciulli han per usanza di trastullarsi, potrebbe essere così acconcio come il campanile per lo scopo cui erasi prefisso. Incrocicchiò dunque due bastoni, preparò un fazzoletto di seta ed una cordellina bastantemente lunga, ed al primo temporale corse alla campagna per fare l' esperienza. Un solo eragli compagno, il figliuolo; temendo il ridicolo con cui suolsi rimeritare i tentativi che non vengono dal successo coronati, siccome egli stesso confessa, non volle ad alcuno far parte del segreto. Una nube che dava molto a sperare era passata; ma invano; già ne venivano altre: ed ognuno potrà immaginare con quanta sollecitudine erano aspettate. Tutto era quieto, non si vedeva alcuna scintilla nè alcun segno di elettricità, quando finalmente alcuni fili della corda cominciarono a rizzarsi come se fossero stati ripulsi, e fu inteso un piccolo rumore: Franklin animato allora da queste apparenze elettriche, presentò il dito all' estremo della cordellina, e tosto vide balenare una vivace scintilla che fu subito seguita da molte altre. Così fu che l' umano ingegno scherzò la prima volta col fulmine e ne colse il segreto dell' esistenza.

Franklin facea quest' esperienza nel giugno del 1752; essa veniva sempre con lo stesso successo ripetuta in tutte le colte nazioni. Un magistrato francese, de Romas, assessore al presidiale di Nérac, facendo tesoro del primo pensiero di Franklin, già divulgato in Francia, erasi anche proposto di adoperare il cervo volante invece delle verghe; e fin dal mese di giugno 1753, prima che sapesse i risultamenti di Franklin, avea ottenuti fortissimi segni di elettricità, perciocchè egli avea avuto la felice idea di porre un filo metallico in tutta la lunghezza della cordellina (*Mem. des Savans étrangers*, t. II). De Romas ripeteva più tardi nel 1757 coteste sperienze in tempo di procella, ed ebbe scintille di maravigliosa grandezza. « Figuratevi, egli dice, di vedere delle lamine di fuoco di 9 in 10 piedi di lunghezza ed un pollice di grossezza, che faceano un romore così grande come colpo di pistola, o anche più forte. In meno di un' ora io ebbi più di trenta lamine di questa grandezza, senza contarne mille altre di sette piedi o meno» (*Mem. des Savans étrangers*, t. IV).

Ad onta di tutte le ben intese cautele che quest' abile osservatore adoperava, pure dalla violenza dell'urto fu una volta gittato a terra.

Questi fatti in modo assai chiaro dimostrano, il fulmine altro non essere fuorchè una scintilla elettrica.

I cervi volanti tanto utilmente adoperati per rendere aperta questa medesimezza; possono anche giovare per molte altre sperienze che ora sarebbe buono tentare pel progresso della scienza; ma l' uso di questi non può mai esser tanto comune da doverne dare qui la descrizione.

535. *Dell'elettricità in tempo di procelle.*— Facendosi ad investigare l'elettricità delle nubi che successivamente passano al di sopra di un cervo volante, si conosce per esperienza che alcune vengon cariche di elettricità vitrea, altre di elettricità resinosa, ed alcune anche allo stato naturale. Quantunque ignoriamo il modo onde l' elettricità si trova disposta entro le nubi o sulla loro superficie, pure possiam dire che i corpi carichi della stessa elettricità si respingono e i carichi di elettricità contrarie si attraggono. Queste attrazioni e ripulsioni operano certamente dal canto loro in quegli insoliti movimenti che si veggono nel cielo in tempo di procella: il vento allora non è più la sola forza che trasporta le nubi; la sua efficacia è allora modificata dalle azioni elettriche che con più o meno forza operano su quegli enormi radunamenti di vapori: e però or si veggon correr veloci l' uno verso l' altro, ora allontanarsi quasi fossero spinti per versi contrari, o avvolgersi sopra se stessi come se il vento che li mena fosse un gran vortice. Ed in mezzo a questa universale agitazione dell' atmosfera vedi sfolgorare il lampo ed odi

muggire il tuono. Prendiamo in disamina questi due fenomeni, la luce ed il rumore.

Vedesi talvolta il lampo fendere le nubi e solcar per lungo spazio il cielo: quando dalla cima delle montagne si osserva questo fenomeno sotto ai propri piedi, si può meglio giudicare dello spazio che occupa; e tutti gli osservatori convengono nel dire di aver veduto dei lampi lunghi oltre una lega. Si sa eziandio che le stesse nubi librate nella stessa regione dell' aria posson dare successivamente molti lampi; onde per tornare allo stato naturale non si comportano come tutti gli altri corpi conduttori elettrizzati. È finalmente cosa risaputa che il lampo segue un sentiero più o meno tortuoso a zigzag. Cotesti tre fenomeni, della forma del lampo cioè, delle sue ripetute apparizioni, e della sua lunghezza, nello stato presente della scienza non posson esser compiutamente spiegati.

Il sentiere tortuoso è comune al lampo ed alla scintilla, e però rendendo ragione di uno di questi fatti resta anche l'altro dichiarato, ma confesso, che, per quanto mi sappia, non trovo nulla sul proposito che possa rendermi pago e contento.

I radunamenti di vapori onde son formate le nubi non somigliano certo i corpi conduttori quali sono le masse metalliche: onde senza sapere come l'elettricità si ripartisce e si compone in equilibrio su questi conduttori imperfetti che hanno sovente parecchie leghe di superficie, pure è chiaro che non basterebbe a scaricarli interamente il far loro toccar per un sol momento la terra, e perciò non può una sola scintilla farli tornare allo stato naturale. Dal seno della stessa nube dunque è forza che vengan fuori molti lampi.

La lunghezza del lampo par derivare anche dalla imperfetta conducibilità delle nubi e dalla mobilità delle parti onde sono composte. Per intendere questo fenomeno non convien paragonare l'elettricità delle nubi con quella di una batteria elettrica. In questa, quando le due elettricità dissimulate tendono a riunirsi, possono percorrere appena uno piccolo spazio: la più forte carica, per esempio, della più forte batteria, non va oltre i tre o quattro centimetri; e la ragione è chiara: finchè gli estremi del circuito sono ad una certa distanza, l'elettricità non vi corrono se non in piccola quantità, imperciocchè esse perchè a vicenda si attraggono son come premute verso le superficie della boccia. È mestieri dunque paragonare l'elettricità delle nubi alle elettricità libere sulle superficie de' corpi più o meno deferenti. Le nostre migliori macchine possono dare scintille della lunghezza di un metro attraverso di un' aria secca; ma se sopra una stoffa di lana o seta si spargano alcune polveri, si potrà avere una più lunga scintilla. Se avessimo a nostra disposizione delle macchine tanto efficaci che circondate da una leggiera nebbia non perdessero sensibilmente la lor tensione, egli è chiaro che le particelle deferenti sospese nell'aria farebbero le veci delle particelle metalliche dell' antecedente sperienza. Per rendere dunque ragione della lunghezza del lampo, penso doversi supporre che sul cammino del lampo vi sian de' vapori, e forse anche delle particelle d' aria elettrizzate le quali tendono a precipitarsi le une verso le altre; e che in un certo tempo, rotto finalmente l'equilibrio, senza che il fluido passi da una nube all' altra, vi sia solamente successivo trasferimento o successiva vibrazione di falda in falda per tutta la lunghezza del lampo.

Il rumore del tuono con tutto il suo strepito ed il suo terribile scroscio non presenta maggior difficoltà dello scoppio della più piccola scintilla: è sempre l' aria ch' è scossa più o meno forte. Quando la scarica di una batteria passa attraverso di un liquido lo spinge e lo sprizza per ogni verso; quando la scarica di una sola boccia attraversa un gas, questo ne vien scosso, e cresce di volume siccome si osserva col termometro di Kinnersley. E ciò basta a render ragione del rumore del tuono e della scintilla. Se ne possono intanto ricavare due spiegazioni, una delle quali sembrami buona: si può dire che il fluido elettrico si apre una strada attraverso della materia come farebbe un projettile per la sua impenetrabilità, e tosto l' aria corra ad occupare il vuoto fatto dal rapido passaggio del fluido, e generi un rumore, siccome nell' esperienza del crepa-vescica interviene. Seguiamo col pensiero il lampo: immaginiamo un tubo di vetro che ne percorra tutte le sinuosità, che sia privo d'aria ed occupi tutto il sentiero del fluido; supponghiamo da ultimo che in un dato tempo questo tubo sia rotto in tutta la sua lunghezza; il rumore che ne seguirà sarà quello del tuono. Questa spiegazione è quella che io reputo non buona: primo perchè la palla di cannone che passa per l'aria dovrebbe generare un rumore simile, nell' atto che odesi solo un certo sibilo che il più timido soldato non ha mai paragonato al tuono; ed in secondo luogo perchè tutte le sperienze ci danno fondata ragione di credere che il fluido elettrico non provi mai un trasferimento analogo a quello de' projettili di materia ponde-

rabile. Abbiamo altrove (206) insistito su questo punto, che ci sembra capitale: ed i principi che abbiamo posti per rispetto al passaggio dell' elettricità attraverso de' corpi buoni o cattivi conduttori, ci porgono un' altra maniera di render ragione del rumore del tuono, la quale è perfettamente a' fatti conforme. Quando la scintilla balena tra due corpi, vi ha decomposizione e ricomposizione di elettricità in tutte le falde in cui si mostra, e però più o meno forte vibrazione in tutta la loro materia ponderabile; è una maniera di laceramento o di subita separazione, siccome osservasi nella sperienza del buca-carta; da questa vibrazione appunto che si propaga in tutta la massa circostante nasce il fragore del tuono.

Ciò premesso immaginiamo, per fermar le idee, un lampo di una lega o solo di 3400 metri: la luce brillerà nello stesso momento in tutta questa lunghezza, e però il suono nello stesso tempo si genera in tutte le falde. Ma il suono si propaga con lentezza, esso percorre 340 metri in 1"; e quindi per un osservatore posto sulla linea del lampo, alla distanza di 340m da uno degli estremi di essa, si avrebbe prima luce, poi assoluto silenzio per 1", indi comincerebbe a sentire il fragore, e quello che sentirebbe da prima sarebbe la vibrazione generata nella falda a lui più vicina; il rumore delle altre falde verrebbe successivamente senza interruzione, e dovrebbe durare 10" nella nostra ipotesi, perchè l' altro estremo del lampo è distante per 3400 metri. Dalla lunghezza del lampo dunque deriva la durata del tuono; e per un osservatore che si trovasse sotto la linea del lampo, verso il suo mezzo, il tuono avrebbe una durata quanto la metà di quella che lo stesso tuono avrebbe per un altro osservatore che si trovasse verso uno degli estremi del lampo; questi sentirebbe un sol colpo, nell' atto che l' altro potrebbe credere di ascoltarne due alla volta, uno dalla destra ed un altro dalla sinistra, perciocchè il rumore gli verrebbe da due parti.

Per quanti secondi o battute di polso passano dall' apparizione del lampo fino alla prima sensazione del tuono, tante volte 340 metri di distanza vi è tra l'osservatore ed il punto a lui più vicino della linea del lampo: quando si vede il lampo, il fulmine è già scoppiato; ciò che resta è solo rumore.

Gli stessi principi bastano a render ragione di quel rumore lacerante, di quel fragore prolungato e di tutti quei periodi di quella terribile armonia che lo scoppio di un solo fulmine ci fa sentire. Nel tragitto del lampo non tutte le falde vibranti ricevono lo stesso impulso, imperciocchè non tutte hanno la stessa temperatura e lo stesso grado di umido o di secco, nè sono per conseguenza sotto lo stesso influsso elettrico. Onde la prima impressione del tuono non sempre sarà la più forte, quantunque venga da un punto più vicino, ed in un' estensione sì grande è impossibile che il tuono molte volte non si rinforzi.

Queste nozioni sono bastanti a farci intender che cosa sia il tuono in se stesso; ma può assai spesso accadere che i boschi, le valli, i monti o anche le nubi generino degli echi per ripeterlo.

536. *Degli effetti del fulmine che cade sulla terra.*—Il fulmine cade quando il lampo guizza tra una nube ed i corpi posti sulla terra: allora dicesi che questi corpi sono *fulminati*. Nel linguaggio della scienza questa parola non significa un' idea di distruzione, imperciocchè il fulmine non distrugge necessariamente tutto ciò che colpisce. Molto fu un tempo disputato per sapere se il fulmine cade dal cielo, o va dalla terra verso le nubi; era questo un dilemma da cui parea che non si potesse uscire; ma da quello che abbiam detto di sopra chiaramente si comprende che il fulmine non cade e non si eleva, imperciocchè mai non vi ha trasferimento del fluido elettrico da un estremo all'altro del lampo. Ciò non pertanto uniformandoci all' uso diremo anche noi che il fulmine cade, ricordandoci tuttavia del significato che convien dare a questa espressione.

Immaginiamo una nube procellosa carica per esempio di elettricità vitrea; la sua elevazione al di sopra del suolo sarà, secondo il solito, compresa tra i 2000 e 6000 metri; essa avrà una certa figura, una grossezza ed una estensione ben grande. Supponghiamo da prima che questa nube sia sul mare o sopra un ampio lago: essa operando per influsso decomporrà l' elettricità naturale della massa liquida respingendo la vitrea nel suolo ed attirando la resinosa alla superficie dell' acqua; il fluido potrà per questo esserne accumulato per generare un sollevamento, e quindi vedrassi allora un gran flutto o un monte liquido che si alza e si mantiene sospeso finchè dura l' influsso. Ma questo fenomeno può in tre modi finire: 1° Se nella nube procellosa non vi ha alcuna esplosione, e più o men velocemente si allontana; la sua forza andrà scemando al crescere della distanza; il fluido resinoso meno attratto passerà nel suolo, e tutta la massa di acqua tornerà allo stato naturale. 2° Se tra la nube procellosa ed un' altra vici-

na, o tra essa e qualche punto della terra lontano dalla superficie dell'acqua che consideriamo, avvenga una scarica, egli è chiaro che la nube rapidamente scaricata cesserà tosto di operare sulle acque che avea innalzate; ed il liquido dovendo in un momento tornare allo stato naturale, cadrà con violenza sopra se stesso, andando la sua elettricità resinosa nelle profondità dell'acqua o del suolo ad unirsi alla vitrea da cui erasi separata. L'acqua in questo caso è fulminata pel *contraccolpo* di cui abbiamo altrove parlato (195); essa è fulminata senza che il fulmine cada, cioè senza che tra essa e la nube procellosa siavi esplosione. 3° Se la nube procellosa sia molto vicina, e molto grande e molto carica in modo che tra essa ed un punto dell'acqua elettrizzata per influsso possa baleuare la scintilla, l'acqua verrà *direttamente fulminata*, e, come dir si suole, il fulmine cadrà sull'acqua. Cotesta esplosione generalmente produce nell'acqua un'effervescenza ed uno sconvolgimento più forte del contraccolpo: questa scossa non interviene tra i fluidi elettrici senza forti commozioni meccaniche della materia ponderabile; ognuno di questi effetti che a lungo descriviamo può in un momento operarsi, ed anche un momento basta perchè tutti successivamente intervengano.

Avendo preso per esempio una massa mobile, omogenea e di una stessa conduttività elettrica in tutte le sue parti, agevole riuscirà l'intendere l'effetto di una nube procellosa sopra un'ampia pianura composta di parti eterogenee e diversamente conduttive. Le naturali elettricità del suolo saranno eziandio separate per influsso, il fluido vitreo sarà respinto, ed il resinoso attratto alla superficie del suolo. Ma nel caso presente non dobbiamo fermarci alla superficie: convien ridurci col pensiere in tutti gli strati del suolo fino ad una bastante profondità, distinguere i buoni ed i rattivi conduttori, guardare infine la loro forma, grandezza e disposizione. Tutte queste circostanze hanno una parte più o meno grande nella generazione dei fenomeni. È chiaro per esempio che se sotto la superficie ad alcuni piedi di profondità si trovasse per esempio uno strato metallico molto esteso, l'azione della nube sarebbe più energica, l'elettricità più copiosa; e la scintilla più presto apparirebbe; allora la crosta del suolo sarebbe in uno o più punti bucata dal fulmine, nel modo che vediamo bucarsi la carta o la lastra di vetro nelle sperienze delle nostre batterie. Ci basta questo paragone per intendere che nelle vaste pianure la natura del suolo, la sua umidità o secchezza, la conducibilità delle masse più o meno voluminose che gli strati contengono, sono tanti elementi che hanno efficacia per la caduta del fulmine e pei maravigliosi effetti che ne derivano. La nube procellosa anche in questo caso esercitando solo un'azione per influsso, potrà fulminare per contraccolpo o direttamente.

Pare che il primo modo non possa generare alcun fenomeno apparente; quando le elettricità sono lentamente separate e lentamente ricomposte, non si ha mai scossa sensibile; ma pare che questi cambiamenti di equilibrio di elettricità possano esser sentiti dagli esseri organizzati e particolarmente da persone affette da malattie nervose. Sarebbe l'uopo fare sul proposito delle osservazioni più precise e più moltiplicate.

Il contraccolpo è sempre meno violento dell'urto diretto. Non mi è noto alcun caso in cui siasi per questo avuta combustione: ma pare certo che uomini e bestie possano esser morti per contraccolpo: allora non si vede sul corpo alcun segno di bruciato, nè piaghe, nè fratture.

I più terribili effetti del fulmine vengono dal colpo diretto. Quando il fulmine cade sul suolo, vi lascia i segni del suo passaggio con uno o più buchi di maggiore o minore profondità: il terreno ne rimane smosso, scavato e svelto.

Se alcune piccole alture si elevino dal piano, esse saranno colpite le prime, perchè più vicine alla nube; per la stessa ragione tutto ciò che si eleva dal suolo è più esposto ad essere percosso dal fulmine: basta un eccesso di pochi piedi di altezza per cagionare l'esplosione; ecco perchè spesso son colpiti gli animali in mezzo alle pianure: ma poste le altre cose eguali, chi trovasi sopra un suolo meno deferente passa meno pericolo di colui che trovasi sopra un suolo buon conduttore.

Consideriamo finalmente l'azione di una nube procellosa che passi al di sopra di oggetti elevati, come alberi o edifici. Se questi corpi non fossero conduttori, la loro presenza non avrebbe alcuna virtù, le nubi opererebbero il loro influsso sul suolo; ma siccome questi sempre sono più o meno deferenti, così la loro elettricità è decomposta, e lo è in ragione della conduttività (1), della

(1) Abbiamo adoperata la voce *conduttività* proposta dal Belli nella Biblioteca Italiana, perchè ci pare che renda meglio l'idea che si vuol significare.

figura ed elevatezza dei medesimi. Gli alberi per loro natura, e particolarmente per l'umido che in se contengono, sono generalmente assai buoni conduttori, e le loro cime sempre più o meno vicine alle nubi ricevono per conseguenza grande accumulamento di fluido. E però gli alberi *attirano* il fulmine, ed i più alti sono i primi ad esserne percossi. In tempo di procella dunque conviene evitare di avvicinarsi ad un albero, o anche ad un cespuglio, specialmente in mezzo alla pianura; imperocchè se il fulmine scoppia, l'albero o il cespuglio saranno percossi. Nelle contrade coperte il pericolo non è lo stesso: è certo che il fulmine cadendo cadrà sopra un albero, ma almeno non cadrà sopra tutti; il più abile osservatore intanto si troverebbe confuso nel cercare un ricovero in tempo di pericolo, e quello che potrebbe far di meglio sarebbe senza dubbio evitare gli alberi e coricarsi per terra.

Gli edifizî sono comunemente composti di metallo, pietre e legnami, i quali per lo più soffrono dalle nube procellose azioni diverse per la loro diversa conduttività. Ma quando il fulmine scoppia, intendesi che percuoterà in preferenza i migliori conduttori; poco importa che siano scoperti o circondati da grossa copertura poco deferente, perocchè l'influsso non è impedito da verun ostacolo; esso opera sopra un chiodo chiuso entro un masso di pietra, egualmente che sopra una banderuola che guarda le nubi; con questo principio si rende ragione di molti fenomeni, da prima incomprensibili, i quali si osservano nello scoppio del fulmine. Questo par che vada con una maniera di discernimento, par che fugga o rispetti un corpo che si trova nel suo passaggio per andare a colpire un altro che sta lontano e nascosto; tutti gli accidenti più o meno maravigliosi che in questi casi vengon narrati, non recheranno certamente confusione all'osservatore che avrà bene intesi i principî della conducibilità e dell' elettricità per influsso.

Avendo esposte le capitali cagioni delle quali lo scoppio del fulmine sulla terra proviene, ci faremo a descrivere in generale gli *effetti* che ne derivano. Distingueremo qui, siccome abbiam fatto ne' fenomeni delle pile e delle batterie, gli effetti meccanici, gli effetti fisici e gli effetti chimici.

Gli *effetti meccanici* del fulmine sono di una forza incredibile: quando il fulmine cade in una casa, interviene quasi sempre che le masserizie o gli utensili ne vengono smossi o rovesciati; spesso fur visti pezzi di metallo svelti dalle loro commessure e menati via a gran distanza; gli alberi son talvolta fessi e rotti, ma comunemente son segnati dalla cima fino alle radici da un solco largo alcuni centimetri e parecchi centimetri profondo; allora la corteccia o le fibre svelte son menate a gran distanza; in piè dell' albero vedesi spesso un buco per lo quale i fluidi si sono sparsi nel suolo. Un osservatore finalmente afferma, e ciò parrà senza dubbio più maraviglioso, che un piccol muro di mattoni della lunghezza di alcune tese, percosso dal fulmine, fu svelto tutto intero dai fondamenti e portato alla distanza di alcune tese. Tali effetti non par che derivino dalle comuni leggi delle elettriche attrazioni, e però noi abbiamo additato (214) un nuovo principio che ci sembra acconcio a farli intendere.

Gli *effetti fisici* sono più somiglianti a quelli che hannosi dalle nostre batterie; essi riduconsi ad una o più meno grande elevazione di temperatura. Quando il fulmine cade sopra tetti di stoppia, sopra mucchi di fieno, sopra legnami secchi, o anche in certi casi sopra alberi verdi, carbonizza le parti che percuote, e assai spesso vi appicca fuoco e genera incendio: debbo intanto aggiungere che in tutti gli alberi colpiti dal fulmine che ho avuto occasione di osservare, assai di rado ne ho osservato di quelli che presentassero segni di carbonizzazione. I metalli, come migliori conduttori, sono fortemente riscaldati dal passaggio del fulmine e spesso anche fusi o volatilizzati. Per la qual cosa non è raro il vedere, in una casa fulminata, ridotti in fumo tutti i cordoni dei campanelli. Questi effetti son risaputi, e se ne dovrebbe profittare in pratica: dovrebbe ricordarsi che nei poderi o nelle case non protette da parafulmini, basta un pezzo di metallo malamente posto perchè il fulmine cadendo vi appicchi un incendio.

Gli *effetti chimici* sono molto più intensi di quelli che aver possiamo dalle nostre batterie. I terribili scoppi del fulmine sulle cime delle alte montagne, lasciano sensibili tracce di fusione. Il Saussure ne ha osservate sulla cima del Monte Bianco, nell' anfibolo scistoso: il Ramond sul Picco del Mezzogiorno nello scisto micaceo, presso la cima del Monte Perduto in un calcareo fetido mescolato a sabbione quarzoso, e nel Puy-de-Dôme in una specie di porfido che compone la *roccia sanadaria*. I sig. Humboldt e Bonpland finalmente han veduto sulla più alta cima del vulcano di Toluca, la superficie della roccia vetrificata per lo spazio di due piedi quadrati; essa era anche in taluni luoghi bucata, e dentro ai buchi vedeasi eziandio la stessa crosta vitrea.

Ecco un altro fenomeno di fusione molto più notevole, il quale è stato con molta diligenza osservato e descritto dal dottor Withering (*Trans. philos. 1790*, ed *Ann. de Phys. et de Chim.*, *t.* XIX, pag. 395).

Il 3 settembre del 1798 il fulmine cadde sopra una quercia nel parco del conte d' Aylesford, ed ammazzò un uomo che aveva cercato ricovero sotto quell' albero. Il bastone che quest' infelice portava in mano e che gli serviva di appoggio, fu, secondo tutte le apparenze, la via principale scelta dal fluido elettrico, perciocchè il suolo sotto la punta del bastone si trovò forato con un buco di cinque pollici di profondità e due e mezzo di diametro. Questo foro osservato poco dopo da Withering conteneva solo alcune radici di zolle bruciate. Qui sarebbero forse terminate le osservazioni, se lord Aylesford non avesse voluto far edificare una piccola piramide nel luogo dell' avvenimento, con un' iscrizione ordinata a stornare i passaggieri che in tempo di procella corressero a prender ricovero sotto gli alberi; ma nello scavarne i fondamenti, si trovò che il suolo nella direzione del buco era stato annerito fino alla profondità di dieci pollici; due pollici più in sotto il terreno quarzoso presentava visibili tracce di fusione. I pezzi mandati per mostra alla Società Reale insieme con la Memoria del dottor Withering eran composti:

1° Da una pietra quarzosa con un angolo interamente fuso.

2° Da un pezzo di sabbia agglomerata dal calorico, perciocchè entro i granelli non v'era alcuna materia calcarea. In questa massa trovavasi una parte scavata in cui la fusione era stata così perfetta che il quarzo dopo essere colato lungo la cavità presentava nel fondo una forma globulosa.

3° Da parecchi piccoli pezzi, ma tutti egualmente forati.

Dobbiamo finalmente citare eziandio tra gli effetti chimici del fulmine quei tubi singolari che sonosi trovati nelle pianure sabbionose della Slesia, della Prussia orientale, del Cumberland, ed anche del Brasile presso Bahia. Essi si chiaman *tubi fulminari* (1), ed abbiamo tutta la ragion di credere che il lor nome sia ben meritato.

Questi tubi hanno generalmente cinque centimetri di diametro interno e fino ad otto o dieci metri di lunghezza; la loro superficie interna è un vetro perfetto brillantissimo e levigato, simile all' opale vitreo; la superficie esterna è rugosa e scabra, formando una maniera di crosta coperta di granelli di quarzo aggruppati come se avesser patito un principio di fusione. Trovansi infossati nella sabbia quando verticalmente e quando obbliquamente; vanno talvolta a terminare dalla parte inferiore in molte branche simili a radici che finiscono a punte; talvolta son lunghi fino a 0m, 33. Il dottor Fiedler, che ha fatto molte osservazioni su questo importante argomento (*Annalen der Physik*, GILBERT. LV e LXI), dice che ad una certa profondità al di sotto di questo pianure di sabbia vi sono de' ricettacoli di acqua, e crede che i tubi fulminari sian generati nel passare del fulmine dalla superficie del suolo fino al liquido in cui resta neutralizzato. E per verità tutti i fatti finora osservati ci conducono ad assegnare questa origine a' tubi fulminari.

Se abbiamo separatamente posti in disamina questi tre effetti, noi l' abbiam fatto perchè, siccome alcuni si pensano, questi non sian comunemente simultanei nella maggior parte delle esplosioni; perocchè v' ha sempre commozione di parti, elevazione di temperatura, e per conseguenza combinazione chimica, se gli elementi vicini sono disposti ad unirsi o separarsi per queste cagioni.

Quando per esempio i corpi organizzati son percossi dal fulmine, il calorico e la violenza meccanica son sempre i fenomeni più apparenti. Ho veduto due infelici fulminati, uno de' quali morì sotto il colpo e l' altro ebbe a soffrire anche per alcune ore; i loro abiti ardevano; profonde impressioni di scottature segnavano il passaggio de' fluidi ed il primo aveva tutta la parte ossea del capo rotta come avrebbe potuto esserlo per colpi di maglio. Cotesti spaventevoli effetti son quelli che con più o meno intensione si ripetono in tutti i disastri di questo genere, ed i quali si osservano senza che la scienza possa co'suoi soccorsi liberarne l' umanità.

537. Per dare un'idea più compiuta de' terribili effetti del fulmine, porremo qui una relazione de' disastri accaduti a Chateauneuf-les-Moustiers il dì 11 luglio del 1819. Questa relazione fu diretta all' Accademia delle Scienze dal sig. Trancalye, vicario generale di Digne.

« Nelle vicinanze di Digne, dipartimento delle Bassi Alpi, v' ha un villaggio detto Chateauneuf, il quale a sud-est confina con la piccola città di Moustiers, conosciuta per una fabbrica di stoviglie, il cui smalto e la cui qualità la rendono giustamente celebrata so-

(1) Detti anche *folgariti*.

pra tutte le altre del regno. Questo villaggio giace all'estremo di una delle principali montagne delle Alpi che formano un anfiteatro sopra Moustiers. Esso è composto di quattordici abitazioni riunite al presbitero ed alla chiesa parocchiale, e sta sopra un' altura tagliata dagli angoli di due altre montagne, una a levante e l'altra a ponente. L'intervallo che separa il villaggio dalla montagna di levante è talmente stretto e profondo, che fa paura. Cento e cinque abitazioni sono disperse a borghetti quasi su tutta la cima della montagna di levante, e danno una popolazione di 500 anime.

» Il dì 11 luglio 1819, giorno di domenica, il signor Salomè curato di Moustiers e commissario episcopale andò a Chateauneuf per crearvi un nuovo rettore. Verso le dieci e mezzo si andò in processione dalla casa curiale alla chiesa. Il tempo era bello: solo si vedevano alcune nubi grosse. Il nuovo rettore cominciò la messa.

» Un giovane di diciotto anni cha aveva accompagnato il curato di Moustiers cantava l'epistola, quando s' intesero tre tuoni che si succedettero con la rapidità del lampo. Il messale gli fu tolto di mano e ridotto in pezzi; si sentì egli stesso stretto dalla fiamma che lo prese al collo. Allora costui dopo di aver forte gridato, come per moto involontario chiuse la bocca, fu gittato a terra e rotolato su tutti gli astanti che erano stati anche atterrati e menati fuori la porta dalla chiesa. Tornato in sè stesso, suo primo pensiero fu di rientrare in chiesa presso il curato di Moustiers che trovò asfisso e privo di sentimento. Questo giovane richiamò sull'infelice pastore l'attenzione e le cure di coloro che leggermente feriti poteano apprestargli soccorso. Fu alzato, fu spenta la fiamma della cotta, e con aceto fu riavuto due ore dopo il suo tramortimento. Ei vomitò molto sangue. Il medesimo assicura di non aver sentito il tuono, nè essere stato conscio dell' accaduto. Fu recato al presbiterio. Il fluido elettrico avea preso fortemente la parte di sopra del gallone d' oro della sua stola che scendeva fino a basso, tolta una delle scarpe e portatala in un angolo della chiesa con la fibbia di metallo rotta. La sedia sulla quale sedeva era stata rotta.

» Il dopo domani il curato fu portato nel suo presbiterio a Moustiers, per esser curato dalle ferite, le quali non restarono rimarginate se non dopo due mesi. Avea riportato una ferita di alcune dita di larghezza alla spalla destra; un' altra estendevasi dal mezzo posteriore del braccio dello stesso lato fino alla parte media ed esterna del cubito; una terza ferita profonda partiva dalla parte media e posteriore del braccio sinistro, ed andava fino alla parte media del cubito dello stesso lato; una quarta più superficiale e meno estesa l' ebbe alla parte esterna ed inferiore della coscia sinistra; ed una quinta sul labbro superiore al quale andava fino al naso. Fu tormentato da una veglia di circa due mesi: ne riportò le braccia paralizzate, e risente le variazioni atmosferiche.

» Un fanciullo fu strappato dalle braccia della madre e menato a sei passi di distanza: questi fu richiamato in vita facendogli respirare l' aria aperta. Tutti ebbero le gambe paralizzate. Tutte le donne scapigliate facevano un pauroso spettacolo. La chiesa fu piena di fumo nero e denso, gli obbietti si distinguevano solo per la luce della fiamma con cui ardevano le parti dei vestimenti accese dal fulmine.

» Otto persone restarono morte; una giovane donzella di 19 anni fu portata a casa tramortita, ove il dì seguente spirò tra i più acerbi dolori, giudicandone dai suoi gridi; per cui i morti furono 9, ed 82 i feriti.

» Il prete celebrante non fu tocco dal fulmine, certo perchè avea vestimento di seta.

» Tutti i cani che stavano in chiesa si trovaron morti in quell' atteggiamento in cui erano da prima.

» Quantunque non si possano con l' occhio seguitare tutte le operazioni del fluido elettrico pure si può talvolta dagli effetti giudicarne.

» Una donna che trovavasi in una capanna, sulla montagna di Barbin a ponente di Chateauneuf, vide cadere l' un dopo l' altro tre globi di fuoco che parea dovessero ridurre in cenere quel villaggio.

» Par che il fulmine colpisse da prima la croce del campanile, la quale si trovò cacciata in una roccia alla distanza di 16 metri. L' elettrico entrò dopo nella chiesa penetrando la volta alla distanza di mezzo metro dal buco per lo quale passava la fune di una campana; il pulpito fu rotto. Nella chiesa fu trovato uno scavo di mezzo metro di diametro prolungato sotto le fondamenta del muro fino sul pavimento della strada, ed un altro che entrava sotto le fondamenta di una stalla che stava dalla parte di basso nella quale si trovaron morti cinque montoni ed una giumenta ».

538. *Dell' origine dell' elettricità atmosferica e della generazione delle nubi procellose.* — Fra tutte le grandi quistioni che occu-

pano la meteorologia, quella dell'origine dell'elettricità atmosferica ha dato forse luogo al maggior numero di disertazioni e d'ipotesi più o meno singolari. Abili osservatori han dato opera a risolverle per via di esperienze: il de Saussure ed il Volta vi si applicarono con quel zelo e con quella rara sagacia che distingue tutti i loro lavori, e se non giunsero a risultamenti definitivi, se non dichiararono la verità, almeno additarono dove era mestieri cercarla. Io ripigliai nel 1825 la quistione dal punto in cui era condotta, ed ho scoperto due grandi sorgenti di elettricità le quali sono le due principali cagioni di elettricità atmosferica. Tutti i particolari di queste esperienze potranno vedersi nelle due memorie pubblicate negli Annali di Fisica e Chimica del 1827, delle quali abbiam portato un estratto nel tomo primo.

Da queste esperienze risulta, da una parte che la vegetazione è una copiosa sorgente di elettricità, e dall'altra che tutte le evaporazioni che continuamente nella natura intervengono, tanto sulla terra ferma quanto sul mare, sono sempre accompagnate da chimiche separazioni.

La vegetazione e l'evaporazione dunque sono le due grandi cagioni dell'elettricità atmosferica. Queste due cagioni, sempre più o meno operose in ogni luogo, in ogni contrada, a seconda delle vicissitudini delle stagioni, sono anche in pari tempo costanti in tutto il globo per l'intero anno. Coteste locali vicissitudini e cotesta universale costanza nelle cagioni ripetonsi del pari negli effetti. Nei diversi climi v' ha diversità di stagioni per le procelle; ma in tutta l'atmosfera si consuma ogni anno per esplosioni dei fulmini una certa quantità di elettricismo che è quasi sempre la stessa, e questa costante quantità di elettricismo appunto è anche in ogni anno riprodotta (1).

L'acido carbonico ed i vapori mescolandosi con l'aria spandono e disperdono in tutta l'atmosfera i fluidi elettrici che han presi dalla terra. Laonde tutte le regioni atmosferiche sono continuamente elettrizzate, ma non da per tutto nello stesso modo; qui domina l'elettricità vitrea; là l'elettricità resinosa, appresso si troverà forse una regione priva di tensione elettrica ovvero allo stato naturale.

E per fermo le osservazioni rendono aperta questa continua elettricità dell'atmosfera. Nel 1755, in un tempo secco, che avea durato sei settimane dalla metà di settembre sino alla fine di ottobre, Lemonnier osservò ogni giorno dell'elettricità nell'atmosfera, nell'atto che la serenità del cielo fu appena turbata in tutto questo tempo da qualche nube passaggiera. L'esperienze di de Saussure, Erman, Volta, e di molti altri solenni fisici, rifermano questo fatto. Anzi si crede, e quasi generalmente da tutti, che a ciel sereno l'elettricità dell'aria sia più comunemente positiva e che cresca in ragion che si va più alto. Le varie esperienze che io ho avuto occasione di fare non conducono ad una conseguenza tanto assoluta: questo è un obbietto d'importantissime ricerche pei meteorologisti. Potrebbe per altro intervenire che l'aria serena fosse positivamente elettrica in certe stagioni e negativamente in altre; potrebbe anche essere lo stato elettrico dell'aria diverso nei diversi climi.

Gli strumenti necessari per queste ricerche non sono nè dispendiosi nè incomodi: un piccolo elettroscopio basta ad indicare le forti cariche. Si può armarlo di una punta o anche di una verga molto lunga, nel cui estremo si ponga un pezzetto di esca accesa. Quando quest' istrumento non dà alcun segno di elettricità, non si dovrebbe concluderne che l'aria è nello stato neutro; ma è mestieri allora adoperare un condensatore più o meno sensibile. Uno dei suoi piattelli si dovrebbe far comunicar col suolo nel tempo dell'esperienza, e l'altro con un filo metallico dovrebbe farsi comunicare con una verghetta isolata o anche con una lunga verga in cima alla quale si trovi l'esca accesa o un lucignolo solforato. In questo caso converrebbe badare a non confondere l'elettricità dell'aria con quella proveniente dalla combustione. Da ultimo per dimostrare che l'elettricità va crescendo con le altezze, non basta di avere più forti cariche in ragion che la punta della verga vada più alto. Vi sono molte altre considerazioni a fare dei cui particolari non possiamo qui discorrere.

Ciò premesso è facile d'intendere come le nubi procellose si generino, e come alcune prendano elettricità positiva ed altre negativa. Tutti i vapori che in tanta prodigiosa quantità si riuniscono per comporre una nube, vi recano necessariamente la loro elettricità. E però la stessa quantità di fluido elettrico che era sparsa in un immenso spazio dell'atmosfe-

(1) Secondo un recente lavoro di Peltier, l'origine dell'elettricità atmosferica sarebbe diversa da quella assegnata dal Volta e modificata dall'autore. Vedi *Comptes rendus*, 1841.

ra trovasi concentrata in quello della nube. Ivi per conseguenza acquista una tensione molto maggiore. La nube sarà elettrizzata positivamente se positiva era l'elettricità dei vapori, e negativamente se negativa.

Le nubi procellose non si generano comunemente se non in certe stagioni dell'anno, e specialmente in certi luoghi, imperciocchè lo stato elettrico dell'aria non è lo stesso in tutti i luoghi ed in tutte le stagioni; ed in questo stato il vapore concorre potentemente a generare cotesti fenomeni, imperciocchè a diverse temperature può acquistare diverse tensioni, e per conseguenza può formare dei ragunamenti o delle nubi di diversissima costituzione, tanto per conducibilità quanto per altre proprietà elettriche. Ma è mestieri confessare che se il principio della formazione delle nubi procellose non presenta alcuna difficoltà, molte ne presentano le applicazioni, imperciocchè non abbiamo sufficienti notizie sulla formazione delle nubi.

539. *De' parafulmini.* — I parafulmini son composti da una verga metallica aguzza che si eleva nell'aria, e da un conduttore che discende dall'estremo inferiore dell'asta fino al suolo.

Le condizioni necessarie perchè essi possano i loro effetti generare sono:

1° Che la punta dell'asta sia bene aguzza;

2° Che il conduttore comunichi perfettamente col suolo;

3° Che dalla punta fino all'estremo inferiore del conduttore non siavi alcuna interruzione;

4° Che le parti dello strumento abbiano opportune dimensioni.

Per meglio intendere ciò che vi ha di essenziale in ciascuna di tali condizioni, supponghiamo per un momento che tutte siano adempiute, e ponghiam mente all'effetto del parafulmine sopra una nube procellosa che passi sul medesimo. Le elettricità naturali dell'asta e del conduttore saran decomposte; quella dello stesso nome sarà respinta nel suolo, ove potrà liberamente diffondersi essendovi perfetta comunicazione; quella di nome contrario sarà attirata al sommo dell'asta, da cui potrà scorrer nell'aria per l'estremo della punta. Per la qual cosa i due fluidi opposti non troveranno alcun intoppo alla circolazione in tutto il conduttore ed al loro scorrere l'uno nel suolo l'altro nell'aria, onde è chiaro che l'accumulamento di elettricità sul parafulmine e per conseguenza l'esplosione sarà impossibile. Mentre il parafulmine è così in azione, mentre torrenti di fluido elettrico scorron per esso, si può andar vicino, si può toccarlo, stringerlo con la mano senza alcun pericolo: dove non vi ha tensione elettrica ivi non è a temere di alcuna scossa. Non solo nelle condizioni poste il fulmine non può cadere sul parafulmine, ma di corto vedremo che non può nemmeno cadere ad una certa distanza intorno al medesimo; vi ha una sfera di attività che è rispettata dal fulmine.

Supponghiamo ora che ad una delle tre prime condizioni non siasi provveduto, cioè che la punta non sia aguzza, che il conduttore non comunichi bene col suolo, o che siavi una interruzione; allora è chiaro che non solo è possibile avere un accumulamento di elettricità sul parafulmine, ma è necessario; esso allora è un conduttore che si carica e che può ricever molta elettricità; avvicinandosi se ne posson trarre scintille or deboli, or forti, e talvolta fulminanti.

Vi sarà pericolo, ma diverso secondo i casi.

Se solo la punta si è fatta ottusa, ed il fulmine cade, esso colpirà l'asta, nè potrà fondere l'estremo, ma generalmente scorrerà pel conduttore senza danneggiare l'edifizio.

Se nel conduttore vi sieno interruzioni o non comunichi bene col suolo, il fulmine potrà eziandio fondere una parte più o meno lunga dell'asta, ma è quasi certo che esso andrà lateralmente a percuotere i corpi conduttori vicini, e che potrà fare del male come se non vi fosse per nulla il parafulmine.

Ma vi ha di più: un parafulmine mal fatto è molto periglioso, anche quando il fulmine non cade; imperciocchè quando il radunamento di elettricità è diventato sul conduttore molto considerabile, il fluido fa impeto per menarsi lateralmente sopra tutti i conduttori vicini, e la scintilla che ne nasce può fulminarli o accenderli. Se ne può citare un lagrimevole esempio. Nel 1753, quando de Romas faceva in Francia le belle sperienze di cui abbiamo parlato, Richmann dell'Accademia di Pietroburgo, e valentissimo professore di Fisica sperimentale, fu subitamente morto da una scintilla, poco lungi dal parafulmine che discendeva nella sua casa, e di cui egli avea interrotta la comunicazione per istudiare gli effetti dell'elettricità delle nubi. Sokolow, incisore dell'Accademia, vide la scintilla uscire dal conduttore e percuotere Richmann nella fronte; essa era grossa, egli dice, quanto un pugno.

Dopo di aver mostrate le condizioni sotto

le quali il parafulmine è efficace, ed il pericolo che vi è nel dispregiarle, ci rimane solo a dichiarare in qual modo vi si possa in pratica soddisfaro. Il Gay Lussac, a richiesta del Ministro dell' Interno e sotto gli auspici dell' Accademia delle Scienze, ha pubblicato su questo argomento un' Istruzione che non lascia niente a desiderare: tutto ciò che riguarda gli effetti dei parafulmini ed i particolari della loro formazione è detto con moltissima chiarezza (1). Ci duole di non poterla qui ripetere, dovendone prendere solo le cose più essenziali.

L' asta del parafulmine è lunga circa 9 metri; essa è comunemente composta di tre pezzi posti l' uno presso l' altro per diritto, cioè:

Una verga di ferro di . .	8m, 60
Una verghetta di ottone di .	0 60
Una punta di platino di . .	0 05

Tutti questi pezzi congiunti formano un cono o una piramide che va regolarmente stringendosi fino alla punta, e la cui base ha 5 centimetri di diametro (*fig.* 387).

La punta di platino è saldata in argento al pezzo di ottone, e questa giuntura è stretta in una ghiera di rame *m* (*fig.* 389).

La verghetta di ottone è congiunta alla verga di ferro mercè un pernio *g* che entra a vite in entrambe (*fig.* 387) ed è fermato in ciascuna da due copiglie ad angolo retto.

La verga di ferro, per comodo di trasporto, è talvolta composta di due parti che si connettono bene mercè un maschio piramidale lungo 2 decimetri: una *chiavetta c* che le attraversa le mantiene fortemente congiunte.

Per collocare l' asta sull' edifizio, si fa un buco nel tetto, e con solide *briglie* o staffe si ferma verso un *monaco*, o sulla trave che regge il comignolo: non si deve badare ad altro che a renderla solida ad impedire che l' acqua s' infiltri, non essendovi alcuna cautela che riguardar possa l' elettricità. Nella figura 392 sen veggono tre diverse disposizioni.

Verso il basso dell' asta, all' altezza di 8 centimetri al di sopra del tetto, si salda una grossa lamina sporgente *bb'* ordinata a rigettar l' acqua.

Poco al di sopra di questa lamina, per una lunghezza di 5 centimetri, l' asta è perfettamente cilindrica e levigata per poter ricevere una specie di anello che si apre a *cerniera ll'* (*fig.* 388), ordinato a congiungere l'asta col conduttore.

Il conduttore è una verga di ferro quadrangolare di 15 in 20 millimetri di lato, la quale si unisce all' anello *ll'* mercè una chiavarda *nn'* e discende fino al suolo: i vari pezzi ond'è composto sono congiunti nel modo espresso dalla figura 390. Alcune volte invece di una verga di ferro si usa una fune di fili di ferro di conveniente lunghezza, la quale si unisce all' anello nel modo espresso dalla figura 391.

Affinchè il peso del conduttore non arrechi alcun danno al tetto, si ferma sopra sostegni posti di tre in tre metri ed alti circa 15 centimetri; giunto alla cornice, si piega in modo da seguirne il contorno senza toccarla (*fig.* 392); e poi si fissa al muro, il che può farsi con rampiconi posti di passo in passo fino al suolo. Qui conviene maggior diligenza e cautela, imperciocchè dalla conducibilità tra il suolo ed il conduttore deriva tutta l' efficacia del parafulmine.

Se si abbia un pozzo che non si dissecca, o se con succhiello si possa fare un buco fin dove trovasi l' acqua permanente, basterà di farvi arrivare il conduttore dividendolo in più branche o radici. Per moltiplicare i toccamenti, il conduttore si condurrà al pozzo ovvero al buco entro fossi appositamente scavati i quali empirannosi di carboni di forno. Si avrà così un doppio utile, si difenderà cioè il ferro dalla ruggine e si porrà in contatto con un corpo ottimo conduttore.

Quando non si abbia acqua, converrà almeno cercare un luogo umido ed ivi menare il conduttore dopo un lungo canale in cui sia ben circondato da carboni. Si potranno anche in questo caso scavare per maggiore sicurezza dei solchi perpendicolari al primo e più o meno lunghi, nei quali si faran passare delle diramazioni del conduttore.

Se intendesi di leggieri che il fulmine non può cadere sopra un parafulmine fatto secondo gli esposti principi, non è meno facile l'intendere che neppur può cadere fino ad una certa distanza da esso. Il fluido che copiosamente esce dalla punta del parafulmine spandesi nell'aria circostante, e, richiamato dalla forza di attrazione della nube procellosa, va a neutralizzare *in parte* la contraria elettricità ond' è carica. Per la qual cosa una

(1) Oltre la Istruzione citata dall' Autore, puoi anche vedere il lungo discorso di Arago inserito nell' Almanacco del 1837; la Istruzione teorica e pratica sui parafulmini del professore Majocchi, è finalmente l' altra del professore Elice del 1841.

no progressivamente per lo stesso verso in un grandissimo numero di anni. La tavola delle declinazioni di Parigi (t. I, pag. 229) ci mostra in fatti che dal 1580 fino al 1824, cioè per circa due secoli e mezzo, la declinazione ha progredito verso l' ovest per più di trenta gradi, non già con velocità uniforme e regolare, ma con moto subitaneo, per salti, e talvolta anche retrogrado. Dal 1824, cioè per circa sedici anni, la declinazione non ha sofferto che deboli variazioni, e par che si abbia ragione di pensare non già che essa sia giunta ormai ad un punto fisso o poco variabile, ma che abbia toccato un certo limite massimo da cui partirà certamente per ridursi verso l'oriente con moti analoghi a quelli coi quali andò finora verso l'occidente. Ciò che si è manifestato a Parigi per tre secoli, si è del pari avverato con più o meno forza o ampiezza dovunque i fisici o i naviganti han potuto osservar la direzione dell' ago da tempi lontani fino a noi. Ma le serie di secolari osservazioni locali son troppo poco estese e numerose per potere ora giudicare se il moto progressivo della declinazione siasi operato intorno alla terra secondo leggi in qualche modo regolari. Esse servono solo a fermare il fatto in se stesso, come un fatto generale intervenuto nella grande università de' punti della terra, ma con periodi di tempo, con condizioni di velocità e di ampiezze diverse.

Si possono ora dunque su tutto il globo, sul mare e sulla terra ferma, dal polo boreale fino al polo australe, rappresentare le presenti direzioni di tutti gli aghi di declinazione, e tenere come un fatto per la scienza che tutte coteste direzioni in un secolo si troveranno cambiate, alcune verso oriente, altre verso occidente, ed il problema che si presenterà allora a' fisici sarà di osservare questi singolari cambiamenti sopra moltissimi punti, convenientemente riportati in tutte le regioni ed in tutti i climi; di conoscere di tempo in tempo a brevi intervalli le loro ampiezze, il verso secondo il quale si compiono, ed i loro periodi diretti o retrogradi, specificando in pari tempo le cagioni perturbatrici o locali che possono esercitarvi qualche influsso. Queste notizie, le quali richieggono tanto zelo, tanta precisione, ed una perseveranza di lavoro, debbono aggiungersi ad altre non meno necessarie, delle quali appresso sarà discorso; solo dopo di aver raccolte tutte queste osservazioni si potranno porre sulle loro vere fondamenta le leggi generali del magnetismo terrestre. Affin di agevolare cotali ricerche, e particolarmente, paragoni che continuamente far si debbono tra le declinazioni dei vari luoghi, abbiamo notate nella tavola, apposita alla fine di questo capo, tutte le declinazioni prese di 5 in 6 gradi di longitudine e latitudine, tanto per l' emisfero occidentale partendo dal meridiano di Parigi, quanto per l' emisfero orientale. Questa tavola corrisponde all' anno 1825: essa è stata quasi esclusivamente compilata mercè le belle carte che il capitano Duperrey ha pubblicate nel 1836. Tutti i fisici sanno ora con quale sagacia questo dotto ed abile marino ha discusse tutte le osservazioni fatte fino a quel tempo. Le operazioni grafiche cui si è dovuto far ricorso per ricavare le curve del sig. Duperrey, e le intercalazioni che sono state necessarie per ridurre le declinazioni giusto a'gradi di longitudine e latitudine, non ci fanno tenere la nostra tavola come perfettamente giusta, specialmente per le latitudini molto elevate. Pure ad onta delle incertezze che potrà presentare sopra parecchi punti, mi è sembrata molto utile per lo studio del magnetismo. Vi si osserveranno delle irregolarità che sembreranno forse troppo grandi: si vedranno per esempio sopra uno stesso meridiano o sopra uno stesso parallelo delle declinazioni che non sembrano punto soggette alla legge di continuità; ma per questo non son da essere considerate come errori; la maggior parte sono state verificate sulla carta, o sopra documenti originali quando si è potuto. La ragione che presenta le più spiccate singolarità è quella compresa tra il 40mo ed il 70mo grado di latitudine boreale e tra il 110mo ed il 140mo di longitudine orientale. Quel grande spazio che occupa i due *versanti* dei monti Dourio e Stanovoy, che comprende il bacino del fiume Amour al sud ed al nord quello del fiume Lena, forma in certo modo una isola separata in cui le declinazioni vanno verso occidente, nell' atto che in tutti gli altri luoghi d' intorno vanno verso oriente. È vero che questa regione è ancor poco conosciuta; ma è mestieri che i viaggiatori ed i fisici vi rivolgano particolarmente la loro attenzione; giova sapere da che questo fatto singolare derivi.

Alcuni fisici tengono come cosa di grave momento il segnare sul globo le linee senza declinazione di un dato tempo, e seguire i moti e le inflessioni che in diversi tempi ricevono: ma è difficile che queste linee isolatamente considerate possan guidarci a qualche risultamento generale: il loro cambia-

mento di sito ha certamente le più strette attinenze con tutti gli altri cambiamenti di declinazione che si compiono intorno al globo, e solo mediante l'insieme di tutti questi cambiamenti si potrà un giorno conoscere se le variazioni di declinazione siano realmente periodiche, se la durata del periodo varii da un luogo all'altro, e se sia possibile di assegnare una sola e comune cagione delle ampiezze dei cambiamenti di declinazione de'vari luoghi corrispondenti a dati intervalli di tempo, o se debbano ripetersi da forze diverse esercitanti azioni locali più o meno estese e profonde. Se per esempio la declinazione si trovasse turbata in un emisfero senza esserlo per niente nell'altro, sarebbe mestieri conchiudere che la forza direttrice invece di essere unica e di avere il suo centro di azione presso al centro terrestre, sia per l'opposto una forza moltiplice, i cui centri di azione corrispondenti a ciascun luogo sian molto vicini alla superficie, per cui possono solo operare sugli aghi ad essi più vicini. Questa quistione è capitale, e tutti i fatti finora conosciuti non mi sembrano ancora sufficienti a risolverla; e forse si può dire, contro la comune opinione, che molti di questi fatti sembrano indicare il centro di azione del magnetismo terrestre essere per ciascun luogo molto lungi dal centro della terra.

§ II. *Variazioni diurne.*

512. Abbiamo altrove fatto conoscere (tom. I, pag. 232) i generali distintivi delle variazioni diurne, almeno per l'emisfero boreale; dobbiamo qui aggiungere che l'efficacia delle stagioni sull'ora precisa e sull'ampiezza di queste variazioni non è egualmente conosciuta per tutti i punti di questo emisfero. Molte osservazioni ci vogliono per discernere in ciascun luogo tutte le forze che concorrono alla generazione di questo fenomeno. Un'importante quistione peraltro pare essere stata risoluta dopo i lavori di vari sperimentatori, e specialmente dopo quelli degli uffiziali della *Venere*; la quale quistione è, se le variazioni diurne sieno le stesse sulle coste orientali ed occidentali di uno stesso continente. S'intende che si ha da questa un dato essenziale per la spiegazione del fenomeno; imperciocchè v'ha una tale corrispondenza tra il moto del sole e i moti diurni dell'ago, che sarebbe stato assai naturale il render ragione di questi ultimi mercè alcuni cambiamenti di temperatura delle falde superficiali del suolo; e siccome le acque e la terra ferma si trovano sotto questo aspetto in condizioni perfettamente diverse, gli aghi collocati sulle coste orientali ed occidentali non potrebbero certamente presentare le stesse variazioni. Or gli uffiziali della *Venere* hanno osservato a Petropauloskoi, sulla costa *occidentale* del Kamtschatka, in quanto alle ore e alle ampiezze, gli stessi moti diurni che sarebbonsi osservati sulla costa *orientale*. L'ineguale distribuzione del calorico a destra ed a sinistra del meridiano magnetico, non pare dunque avere alcuna sensibile influenza sulle variazioni diurne dell'ago calamitato.

Gli stessi uffiziali hanno anche conosciuto nell'emisfero australe, a Callao, sulle coste del Perù, un fatto importante, avvertito già da Gay, e da lui bene assicurato sopra molti punti della costa del Chilì, e particolarmente a Valdivia, mercè un anno intero di osservazioni. In quei paraggi l'ago ogni giorno ha tre tempi di fermata o di doppia oscillazione: il mattino esso va verso l'est, a mezzo giorno torna verso ovest, e poi verso le tre o le quattro della sera riprende il suo moto verso l'est (*Comptes rendus*, t. II, p. 330, e t. III, p. 329). Nessun fenomeno simile è stato finora nell'emisfero boreale osservato. Prima che questo fatto fosse ben fermato, erasi creduto che le variazioni diurne australi fossero analoghe alle boreali per le ore e per le ampiezze, ma contrarie per la direzione del moto; donde erasi concluso, dovervi essere nella zona equatoriale, o verso l'equatore terrestre o verso l'equatore magnetico, una linea senza variazioni diurne, imperciocchè non si può passare da un moto all'altro opposto senza un punto di quiete. Or senza perdere di vista questa illazione, è mestieri cercare questa linea di quiete se mai vi sia, ed i suoi cambiamenti annuali o secolari se ne abbia; ma è mestieri nello stesso tempo osservare l'estensioni e i limiti geografici di questo moto diurno a doppia oscillazione, conoscerne tutte le circostanze per rispetto alle stagioni ed alle condizioni geologiche ed idrografiche, e cercar finalmente se esso stesso non fosse una particolar maniera di passaggio dall'emisfero boreale all'emisfero australe sopra una certa zona di cui sarebbe mestieri determinare la giacitura per rispetto all'equatore terrestre o magnetico.

Si vede dunque che le variazioni diurne non ci presentano un obbietto meno vasto delle declinazioni, e che questo si va intrigando di più per circostanze nuove e straordinarie.

Non si conosce finora se la cagione geo-

ratrice di questi moti sia una forza secondaria o perturbatrice ridotta in atto accidentalmente sotto l' influsso del calorico, della luce, o dell' irraggiamento solare, o se sia la stessa forza magnetica che patisca integralmente nella sua direzione e nella sua intensione de' giornalieri cambiamenti, i quali fanno periodicamente variare i suoi effetti sull' emisfero illuminato della terra; imperciocchè quantunque gli aghi posson patire delle perturbazioni durante la notte, pure generalmente esse non sono così sensibili e così regolari come di giorno. Dobbiamo per altro osservare che questa distinzione non si applica egualmente a tutte le teorie del magnetismo terrestre, imperciocchè nella teoria delle correnti, sian profonde sian superficiali, la causa perturbatrice agevolmente si confonderebbe con la causa generale.

Le variazioni diurne sono particolarmente alterate dalle aurore boreali, siccome vedremo nel § VI; ma non pare che i tremuoti che operano sulle declinazioni possano disturbare la regolarità del moto diurno fuorchè per semplice azione meccanica. Questo fatto è stato ancora rifermato non ha guari nel viaggio della *Venere*, imperciocchè il cammino diurno dell' ago non è stato alterato ad Acapulco, sulla costa occidentale del Messico, da' frequenti tremuoti che a poca distanza faceansi sentire su tutta la costa orientale.

§ III. *Inclinazione.*

343. L'inclinazione per ciascun punto della terra sembra avere un moto progressivo del pari che la declinazione, ma secondo la tavola da noi riportata (tom. I, pag. 231) per Parigi, si vede non esservi alcun indizio per cui si conosca che questo moto si avvicini al termine in cui deve sensibilmente rallentarsi per poi restare stazionario o diventar retrogrado. Non è ancor mezzo secolo da che si sappia con sufficiente giustezza osservare l'inclinazione; ed in questo tempo essa è andata irregolarmente, ma quasi continuamente diminuendo a Parigi, senza che siasi osservata alcuna sensibile differenza tra gli ultimi anni e gli antecedenti.

Ciò che abbiam detto della declinazione vale anche per l'inclinazione. Non già sapendo ciò che interviene a Parigi od anche in Europa si può giungere a qualche illazione importante per la scienza. I fenomeni del magnetismo, del pari di quelli della distribuzione del calorico, del moto dell' atmosfera e dell' equilibrio delle acque, appartengono essenzialmente all' intero globo terraqueo. Le osservazioni locali fatte con la maggior diligenza ed assiduità per molti anni, in ultimo risultamento possono essere considerate come punti luminosi impercettibili che debbono esser radunati e stretti in numero infinito per dare una luce sensibile. È mestieri dunque moltiplicar in ogni luogo delle serie di osservazioni secolari prima di avventurare opinioni sulle leggi di cosiffatti fenomeni ed inferir conseguenze che sarebbero premature; ma siccome non può sperarsi che tutti i paesi, anche i più civilizzati, possano concorrere con lo stesso zelo e con lo stesso successo per un tal genere di ricerche, così è buono supplire con metodi pronti ai dati che sicuramente mancheranno per un gran numero di punti. Ecco perchè la scienza pone molta importanza nel conoscere il cammino dei fenomeni in tale o tal altra regione le quali sono in certo modo i luoghi di sua predilezione. Per lo magnetismo specialmente è per ciò che riguarda l' inclinazione e l' intensione, le regioni importanti sono quelle dell'*equatore magnetico* e dei *poli magnetici*. E per fermo intendesi che se l' equatore magnetico fosse perfettamente conosciuto in tutte le sue sinuosità, in tutti i cambiamenti di luogo e in tutte le trasformazioni che prova di tempo in tempo, se il sito dei due poli magnetici e la legge del lor movimento fossero nozioni possedute dalla scienza, basterebbe certamente conoscere le variazioni dell'inclinazione, della declinazione e dell' intensione in un certo numero di punti molto più ristretto, per iscoprire finalmente la legge secondo la quale si compiono tutti i cambiamenti magnetici che osserviamo.

La direzione dell'equatore magnetico è stata determinata per più della metà del suo corso mercè un gran numero di esperienze. La porzione più conosciuta comprende l'Oceano Atlantico, le coste orientali ed occidentali dell' America, ed il grande Oceano Equinoziale fino al 150^{mo} grado di longitudine; poi il grande Arcipelago d' Asia da Borneo fino al 175^{mo} grado di longitudine orientale; ma l'interno dell' America, tutta l' Africa e l'Oceano Indiano presentano appena un piccol numero di osservazioni isolate. Nella figura 405 vedesi segnata la metà meglio conosciuta dall' equatore magnetico, salvo la parte dell'Oceano Atlantico che non ha potuto essere indicata per questo modo di rappresentazione. Questa carta è pure del Duperrey; essa è particolarmente ordinata a far vedere la situazione geografica dei poli e le tracce delle

curve che si avrebbero facendo andare dall'equatore terrestre delle bussole di declinazione verso ciascun polo, sotto la condizione che in ogni luogo il meridiano magnetico fosse il punto osculatore della curva descritta, o che la direzione dell'ago di declinazione fosse la tangente di questa curva. Le linee irregolari ottenute in tal modo da Duperrey di dieci in dieci gradi di longitudine, danno a prima vista un'idea generale della declinazione, ovvero della traccia dei meridiani magnetici da un polo all'altro. Le altre linee che vanno dall'est all'ovest e che sono perpendicolari alle prime, son quelle che si avrebbero con la bussola d'inclinazione, facendola camminare con la doppia condizione che in ciascun luogo l'ago d'inclinazione fosse verticale, e il piano di rotazione nel quale può allora muoversi fosse il piano osculatore della curva descritta alla superficie della terra. Queste curve sono in certo modo dei paralleli magnetici; ma la discussion delle esperienze ha fatto vedere che esse non sono nè le curve di eguale inclinazione nè le curve di eguale intensione.

Per determinare per esperienza le situazioni geografiche dei vari punti dell'equatore magnetico, si usa la seguente formola sulla quale nel § V ritorneremo: $\tan g\, m = \frac{\tan g\, i}{2}$: i è un'inclinazione assai vicina all'equatore magnetico da non oltrepassare i 25° o 30°; m è *latitudine magnetica*, cioè l'arco compreso tra l'equatore magnetico e la stazione in cui l'inclinazione i è osservata, computando quest'arco sul *meridiano magnetico* della stazione.

Per fissare sul globo o sulla carta un punto dell'equatore magnetico, non si deve far altro che osservare al sud o al nord dell'equatore una inclinazione al di sotto dei 30°, determinare con diligenza la latitudine e la longitudine terrestre del luogo dell'osservazione del pari che la sua declinazione, segnare sulla carta il corrispondente meridiano magnetico, e prendere sulla direzione di esso un arco eguale al valore di m dato dalla formola antecedente: l'estremo di quest'arco sarà uno dei punti dell'equatore magnetico, le cui coordinate geografiche potrannosi allora facilmente determinare.

Del resto per supplire a ciò che la figura 405 non può rappresentare, riporto qui la seguente tavola, nella quale secondo il Duperrey di 10° in 10° di longitudine trovansi segnate le diverse latitudini australi o boreali in cui l'equatore magnetico taglia i corrispondenti meridiani terrestri per l'anno 1821.

EMISFERO BOREALE		EMISFERO AUSTRALE	
Longitudine E.	Latitudine N.	Longitudine O.	Latitudine S.
3° 20'	0° 00'	0° 00'	2° 30'
10 »	3 15	10 »	8 20
20 »	6 45	20 »	10 30
30 »	9 15	30 »	14 40
40 »	10 55	40 »	15 00
50 »	11 50	50 »	15 25
60 »	15 40	60 »	14 40
70 »	10 55	70 »	11 30
80 »	9 30	80 »	8 50
90 »	8 10	90 »	5 35
100 »	7 30	100 »	3 20
110 »	6 30	110 »	2 40
120 »	6 20	120 »	2 35
130 »	6 55	130 »	2 20
140 »	6 45	140 »	2 00
150 »	6 15	150 »	2 00
160 »	3 55	160 »	2 5
170 »	1 10	170 »	0 00
180 »	0 00	180 »	0 00

I *poli magnetici* non presentano altra difficoltà nell'essere assegnati se non quella di essere in certo modo gittati ai confini del mondo, in luoghi inaccessibili, o almeno circondati da insuperabili pericoli. Il capitano Ross è stato il primo a trionfare di tanti ostacoli, e nel suo memorando viaggio del 1830 giunse a porre la bussola sul *polo boreale* ed a notare perfettamente il luogo in cui allora trovavansi sulla superficie della terra. Questo è il punto segnato sulla figura 405, la sua longitudine era in quel tempo 99° 7' 9' all'ovest del meridiano di Parigi, e la sua latitudine di 70° 5' 17". Le osservazioni del capitano Ross fatte in longitudini molto diverse e quasi tutte intorno al polo, non lasciano alcun dubbio sulla giustezza di questa determinazione: egli ha trovato nello stesso tempo i due distintivi che servono a riconoscere il polo, cioè la giacitura verticale dell'ago d'inclinazione per tutti gli azimut, e la incertezza dell'ago di declinazione che resta allora senza forza direttrice.

Il *polo australe* rappresentato nella figura 405 è stato determinato dal capitano Duperrey, combinando le osservazioni circumpolari, e segnando le sue curve meridiane nel modo detto di sopra (1). Intendesi che un risultamento in tal modo ottenuto non può essere esente da errore; lo stesso Duperrey pensa potervi essere l'errore di qualche grado, imperciocchè son tanto rare le recenti osservazioni per questi luoghi, che è stato forza ricorrere ad osservazioni antiche, le quali forse erano meno giuste, anche perchè non poteano ricevere le correzioni necessarie per riportarle al 1824.

Sonosi ultimamente fatte moltissime osservazioni a fine di riconoscere se l'inclinazione cambi con l'altezza al di sopra del livello del

(1) Due vascelli inglesi sono andati in questi ultimi tempi verso il polo australe per 4 gradi più innanzi dell'ultima navigazione francese, ed hanno scoperto nuove terre con un vulcano ardente secondo una relazione che abbiam letta. Il polo magnetico non potea trovarsi più lontano di 100 miglia dalla maggior latitudine cui giunsero.

mare, e sembra risultarne che essa provi una leggerissima modificazione: Humboldt l'ha trovata di 2' per 260 metri, operando alla superficie del suolo e nelle profondità d'una mina, ed il Kupfer ha trovato il medesimo risultamento nel suo viaggio al monte Elbrouss. Questo fatto non è senza importanza; poichè se esso è generale, come si può supporlo, menerà, senza dubbio, a riconoscere il genere d'influenza che posson avere le grandi catene de' monti, ed i grandi massi che formano il rilievo della terra.

§ IV. *Intensione.*

544. Abbiamo già fatto conoscere (t. 1. pag. 240) con quali metodi si può ritrovare la intensione magnetica della terra, tanto se vogliasi solo la intensione orizzontale, quanto se vogliasi la intensione totale, cioè quella che s'opera secondo l'ago d'inclinazione abbandonato a se stesso nel piano del meridiano magnetico. Dobbiamo qui aggiungere che i risultamenti per tal modo trovati debbono ricevere una correzione che deriva dalla temperatura; imperciocchè è cosa ormai conosciuta che lo stesso ago nello stesso tempo e nello stesso luogo fa più o meno oscillazioni secondo che ha una temperatura più bassa o più elevata. Ma se questo effetto del calorico è generale, o quasi senza eccezione, non deve dirsi lo stesso della sua intensione, la quale tra gli stessi limiti pare molto variabile, a seconda della forma e della grandezza degli aghi, e forse anche a seconda di altre circostanze che non sono state ben poste in disamina. Per questo genere di correzioni la maggior parte dei fisici usano la formola seguente: $s = s' (1 - a (t' - t))$.

s' è il numero dei secondi corrispondenti a 100 o 200 oscillazioni alla temperatura t'; s è il numero dei secondi che si sarebbero spesi alla temperatura t per lo stesso numero di oscillazioni; a è il coefficiente dell'ago: esso si determina da prima, portando appositamente l'ago a diverse temperature conosciute e comprese tra limiti opportuni, ed osservando i corrispondenti valori di s ed s'.

I viaggi intorno al mondo e quelli fatti da un gran numero di osservatori quasi in tutte le contrade di Europa ed in alcuni punti della terra ferma dell'Asia e dell'America, han già dato molti importanti risultamenti sull'intensione magnetica della terra. Si è proccurato di discuterli e di segnar sul globo le *linee isodinamiche* o di eguale intensione: ma una profonda disamina di questa discussione richiederebbe una estensione molto maggiore di quella che io posso qui dare; debbomi però restringere a dire, che secondo le presenti nostre conoscenze, nulla pare più irregolare ed anche più capriccioso dell'andamento generale delle linee isodinamiche; non vi si vede alcun principio, alcun legame, alcuna ragione tra le improvvise e moltiplici inflessioni che presentano; non vi è regola generale per esse che tosto non trovi la sua eccezione. Così fu creduto da prima che sull'equatore magnetico l'intensione fosse costante; ma nuove sperienze mostrano il contrario, e par che rendano aperte differenze grandissime; erasi tenuto per certo che la intensione andasse crescendo con la inclinazione o latitudine magnetica, ma molti esempi vennero in contrario, e gli osservatori della *Bonite* han fatto conoscere che a Payta dove l'inclinazione è di 4° 23', l'intensione è più grande che a Cobija dove l'inclinazione è di 24° 13', quantunque questi punti non sian molto lontani dall'equatore magnetico, il primo verso nord e l'altro verso sud, ed entrambi presentino declinazioni poco diverse. In questo stato di cose altro non resta che moltiplicare le osservazioni, facendole con la maggior diligenza perchè si possan tenere come del tutto vere.

Le varie teorie del magnetismo terrestre sembrano accordarsi nel dire che l'intensione magnetica dei poli debba esser doppia di quella dell'equatore; ma questa stessa deduzione, prima di esser reputata come vera, avrebbe bisogno di esser da più compiute sperienze rifermata. Il nesso che essa pone tra le intensioni corrispondenti alle varie latitudini magnetiche, è espresso dalla seguente formola sulla quale nel § V ritorneremo:

$$r = \sqrt{1 + 3 \operatorname{sen}^2 m},$$

essendo 1 l'intensione sull'equatore magnetico, ed r la intensione corrispondente alla latitudine magnetica m.

Questa formola dà in fatto $r = 2$ per $m = 90°$, che è presso a poco il valore che deve avere per l'uno o l'altro polo: diciamo *presso a poco*, perchè l'equatore essendo una curva irregolare, i due poli non possono esserne lontani per 90°.

Sonosi anche fatte molte ricerche per sapere se la intensione scemi salendo per la stessa verticale, e si è almeno conosciuto che se vi è una diminuzione, questa è piccolissima. In America l'intensione si è trovata la stessa alla cappella di Guadalupa ed a Santa-Fe di Bogota. Il Forbes pone la diminuzione di 1 millesimo per 1000^{metri} a'Pirenei. Nel Cauca-

so; sul Kharbis, il Kupfer pone la diminuzione di 1 millesimo per 300metri. Queste discordanze lasciano ancora qualche dubbio sul fatto, ma non contengono nulla che ci debba far maravigliare, qualora si pensi che non solo si deve tener conto delle correzion di temperatura, ma anche delle variazioni diurne delle intensioni stesse, le cui leggi sono sconosciute, della variazione diurna della inclinazione che è incerta, e della non meno dubbia variazione che la inclinazione soffre con le altezze.

§ V. *Discussione di alcune formole.*

545. Possiamo ora vedere se è possibile di rappresentare i fenomeni magnetici della terra, supponendo che derivino dall' azione unica di due poli eguali ed opposti, situati in qualunque modo nel seno della terra.

Prendendo a destra ed a sinistra dell' origine alla distanza eguale ad 1 due punti p e p' sull' asse delle x, uno de' quali rappresenti un polo australe e l' altro un polo boreale, le azioni di questi punti sopra una molecola a di fluido australe avente per coordinate x ed y saranno $\frac{1}{r^2}$ ed $\frac{1}{r'^2}$, prendendo per unità l'intensione della distanza 1, e rappresentando per r ed r' le distanze di questa molecola da' punti p e p'. Queste forze decomposte parallelamente agli assi daranno per componenti $x = \frac{\cos a}{r^2}$, $y = \frac{\operatorname{sen} a}{r^2}$, $x' = \frac{\cos b}{r'^2}$, $y' = \frac{\operatorname{sen} b}{r'^2}$, dinotando con a e b gli angoli che le forze emanate da p e p' fanno con l' asse delle x, computando questi angoli, come suolsi, secondo il verso dell' azione delle forze. Il quadrato della risultante t sarà dato dall' equazione $t^2 = \frac{1}{r^4} + \frac{1}{r'^4} + \frac{2\cos(a-b)}{r^2 r'^2}$.

Per aver l' intensione sull' asse delle x o sulla linea de'poli, basta fare $a=0$, $b=180°$, ovvero $a=180°$ e $b=0$: ne' due casi si ha $\cos(a-b) = -1$, e l' equazione diventa

$$t = \pm\left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r'^2}\right);$$

e siccome $r' = r \pm 2$, ne risulta $t = \pm\frac{4}{r^3}$ pel caso in cui r è grandissimo per rispetto all' unità.

Per avere l' intensione sull' asse delle y ossia sull'equatore, basterà osservare che allora $r = r'$, $\cos(a-b) = \frac{2-r^2}{r^2}$, ed il valore di t diventa $t = \pm\frac{2}{r^3}$, cioè che supponendo r grandissima per rispetto alla metà della distanza dei centri di azione; l' intensione presa sulla linea de' poli è, per un' eguale distanza, doppia dell' intensione presa sull' equatore; ma essa è doppia solo in questa ipotesi. Si può anche osservare che le intensioni sull'equatore e sulla linea dei poli sono allora nella ragione inversa de' cubi della distanza.

Se prendesi l' origine delle coordinate per centro di una circonferenza di un raggio qualunque d, sarà agevole esprimere l' intensione in un punto qualunque di questa circonferenza mercè la distanza polare q, cioè per mezzo dell' angolo b che il corrispondente raggio fa con l' asse delle x che è la linea dei poli. E per fermo si ha:

$$r = \sqrt{d^2+1-2d\cos q},\quad r' = \sqrt{d^2+1+2d\cos q},$$

$$2\cos(a-b) = -2\cos pap' = -\frac{r^2+r'^2-4}{rr'}.$$

Sostituendo questi valori di r, r' e $\cos(a-b)$, l' espressione generale del quadrato della risultante diventa:

$$t^2 = 2\,\frac{(d^2+1)^2 + 4d^2\cos^2 q - (d^2-1)\sqrt{(d^2+1)^2 - 4d^2\cos^2 q}}{[(d^2+1)^2 - 4d^2\cos^2 q)]^2}.$$

L' intensione dell' equatore essendo, secondo abbiamo veduto di sopra, $\frac{2}{r^3}$ ovvero $\frac{2}{(d^2+1)^{\frac{3}{2}}}$, è agevole l' intendere che prendendola per unità, il quadrato della intensione t' per una distanza polare q diventerà:

$$t'^2 = \frac{(d^2+1)^3}{2}\left\{\frac{(d^2+1)^2 + 4d^2\cos^2 q - (d^2-1)\sqrt{(d^2+1)^2 - 4d^2\cos q}}{[(d^2+1)^2 - 4d^2\cos^2 q]^2}\right\}$$

o solamente

$t' = \sqrt{1 + 3\cos^2 q}$ ovvero $t' = \sqrt{1 + 3\,\text{sen}^2 m}$

(essendo m la latitudine magnetica), quando d è tanto grande per rispetto ad 1, che si possan prendere solo i due primi termini dello sviluppo del radicale che entra nell' espressione generale di t'^2, dopo di avergli dato la forma $d^2\left(1 + 2\frac{1 - 2\cos^2 q}{d^2}\right)^{\frac{1}{2}}$.

Laonde in questa ipotesi l' intensione magnetica diventa semplicissima per una distanza polare qualunque, o per una latitudine magnetica qualunque $m = 90° - q$, e si trova in fatti $t' = 2$ per $q = 0$, ovvero $m = 90°$, secondo generalmente si pone, siccome abbiam veduto alla pagina 318.

Ma tutte le osservazioni d' intensione, che sono state fatte finora a diverse distanze dall' equatore magnetico, non bastano per fermar con certezza che l' intensione dei poli sia doppia di quella dell' equatore magnetico; laonde ponendo, siccome si fa comunemente, che i due centri magnetici sian tra loro vicinissimi per rispetto alla lunghezza del raggio terrestre, e che siano anche vicinissimi al centro della terra, si fa un' ipotesi che può allontanarsi moltissimo dalla verità. Egli è agevole intendere per esempio che $d = 4$ e $d = 5$ danno per le ragioni d' intensioni polari ed equatoriali 2, 5 e 2,29; e siccome per l'esperienze fatte finora non vi ha alcuna ragione che vieti assolutamente di porre queste intensioni, specialmente l' ultima, così non si ha finora alcuna ragione per dire che i centri magnetici non siano al quarto o al quinto del raggio terrestre.

Questo dubbio prende più forza qualora si ponga mente alla legge degli accrescimenti delle inclinazioni.

E per fermo se ritorneremo alla composizione delle forze che ne ha guidati all' espressione generale della risultante, è agevole l'intendere che l' angolo u che questa risultante fa con l' asse delle x è dato dall'equazione:

$$\text{tang}\,u = \frac{r'^3\text{sen}\,a + r^3\text{sen}\,b}{r'^3\cos a + r^3\cos b} = \frac{y\,(r^3 + r'^3)}{x(r'^3 - r'^3) + r'^3 + r^3}$$

Si ha d' altronde $\text{tang}\,u = -\text{tang}\,(i + m)$, chiamando m la latitudine magnetica ed i la inclinazione, cioè l' angolo della risultante o dell' ago con la perpendicolare al raggio che unisce il centro dell' ago al punto che segna la metà della distanza dei centri magnetici; e poichè

$$r = \sqrt{d^2 + 1 - 2d\,\text{sen}\,m},\; r' = \sqrt{d^2 + 1 + 2d\,\text{sen}\,m}$$

si può facilmente calcolare il valore preciso di tang$i$ quando si conosce la latitudine magnetica.

Volendosi arrestare alle prime approssimazioni negli sviluppi di r ed r', ne risulta:

$$\text{tang}\,i = 2\,\text{tang}\,m \left\{ \frac{d^2\text{sen}^2 m}{d^2 + 1 + 2\,\text{sen}^2 m} \right\},$$

e per d grandissimo, $\text{tang}\,i = 2\,\text{tang}\,m$, che è la formola di cui abbiamo parlato alla pagina 346, e di cui comunemente si fa uso per determinare i punti dell' equatore magnetico terrestre per osservazioni d' inclinazioni comprese tra 0 e 30°. Ma i punti per tal modo determinati potrebbero trovarsi in errore di più di 2 gradi per inclinazioni comprese tra 25° e 30° se i centri magnetici si trovassero al quarto o al quinto del raggio. Anche un'altra cagione potrebbe far nascere errori nell' equatore magnetico che si è segnato: e questa è la supposizione che il centro della terra coincida sensibilmente col punto che sta nel mezzo della distanza dei centri magnetici.

La tavola seguente contiene le inclinazioni i calcolate con la formola esatta per le latitudini magnetiche prese di 5 in 5° supponendo $d = 4$, e le inclinazioni i' calcolate supponendo che la tangente della inclinazione sia doppia di quella della latitudine.

m	u per $d=4$	i	i'
0° 30′	178° 35′ 6″	0° 54′ 54″	0° 59′ 59″
1	177 10 25	1 49 35	1 59 57
5	165 57	9 3 0	9 55 30
10	152 15	17 54	19 25 30
15	139 10	25 50	28 11 10
20	126 52	33 8	36 3 10
25	115 21	39 39	43 0 10
30	104 33	45 27	49 6 30
35	94 23	50 37	64 28 10
40	84 42	55 18	59 12 30
45	75 30	59 30	63 26 »
50	6[illegible] 35	63 25	67 14 20
55	57 55	67 5	70 42 10
60	49 25	70 35	73 53 50
65	41 2	73 58	76 52 30
70	32 42	77 18	79 41 10
75	24 32	80 28	82 28 20
80	16 21	83 39	84 58 40
85	8 10	86 50	87 29 40
89	1 38 0	89 21	89 30 »
89 30	0 49 0	89 41	89 45 »

Si vede infatti che per latitudini magnetiche che oltrepassano 5 o 6°, le inclinazioni calcolate nell' ipotesi di d grandissima divengono rapidamente più grandi di quelle calcolate nell' ipotesi di $d=4$, e queste ultime sono generalmente più conformi ai fatti osservati.

Se i fenomeni generali del magetismo terrestre potessero essere rappresentati supponendo due centri magnetici che fossero gli stessi per tutti i punti della terra, si giungerebbe senza alcun dubbio ad esprimere non solo le inclinazioni e le intensioni, ma anche le declinazioni in modo preciso per tutti i punti ove non vi fossero cause perturbatrici locali. Una semplicissima costruzione geometrica mi ha condotto alla seguente formola acconcia a rappresentare la declinazione v' sopra un parallelo all' equatore terrestre corrispondente alla latitudine atmosferica l':

$$\tang v' = \frac{\cos a \operatorname{sen} z \cos l' - p \operatorname{sen} a \operatorname{sen}(z-b) \operatorname{sen} l'}{\operatorname{sen} a \sqrt{1-p^2 \operatorname{sen}^2 (z-b)}}$$

a, angolo che l' asse magnetico fa col parallelo, ovvero complemento dell' angolo che fa coll' asse della terra;

$p=\frac{e}{r}$, r essendo il raggio del parallelo,

e la distanza che passa tra il centro di questo parallelo ed il punto in cui l' asse magnetico incontra il suo piano;

b, angolo che la linea e fa colla projezione dell' asse magnetico sul piano del parallelo;

z, angolo formato dalla projezione dell'asse e da una retta che unisce un punto qualunque dalla circonferenza del parallelo col punto in cui l' asse incontra il suo piano; z è computata da 0 a 360°.

Se invece di un parallelo si consideri lo stesso equatore terrestre, si avrà $l'=0$, e la declinazione v corrispondente ad un punto qualunque della circonferenza equatoriale sarà data dalla formola:

$$\tang v' = \frac{\cos a \operatorname{sen} z}{\operatorname{sen} a \sqrt{1-p^2 \operatorname{sen}^2 (z-b)}}.$$

Laonde per $z=0$ e 180° la declinazione è nulla; e quando p è piccolo, giunge al suo massimo per valori di z che si avvicinano a $z=90°$ e 327°, sia qualunque b.

Ma ciò che bisogna specialmente osservare, si è che dall'una e dall'altra parte della projezione dell'asse magnetico sull'equatore, le declinazioni che son nulle per questa projezione debbono riprodursi perfettamente le stesse, fuorchè per il segno, per li valori di z che differiscono da 180°: or questa perfetta simmetria delle declinazioni, non agli estremi di uno stesso diametro, ma agli estremi di una stessa linea che passi per lo punto in cui l'asse magnetico incontra l'equatore, non si riproduce in verun modo; anzi sulla circonferenza dell'equatore osservasi una mancanza di simmetria grandissima: invece di due punti in cui la declinazione è nulla, se ne trovan tre, più o meno separati tra loro, ed invece di avere de' massimi di declinazione uguali ed opposti, interviene che uno di questi massimi oltrepassa l'altro per molti gradi. Ne deriva quindi chiaramente l'assoluta impossibilità di riprodurre i fenomeni magnetici, supponendo che per tutti i punti della terra i centri di azione sian gli stessi. Io insisto su questa conseguenza la quale è importantissima, facendo avvertire che questo difetto di simmetria nelle declinazioni non pare che possa essere spiegato per particolari azioni locali che si estenderebbero solo ad una piccola distanza dall'equatore, imperciocchè le declinazioni de' vari paralleli, tanto nell'emisferio boreale quanto nell'australe, anche si allontanano molto dalla formola che dovrebbe esprimerle, e par che non si possa dare a p un valore acconcio a poterle con questa formola almeno con sufficiente approssimazione rappresentare.

Seguita dalle cose dette:

1.° Essere importantissimo moltiplicare le osservazioni d'intensione verso i poli magnetici, per conoscere la vera ragione che passa tra questa intensione e quella dell'equatore magnitico;

2.° Poter rimanere qualche dubbio sulla estensione in latitudine nella quale si può rigorosamente porre la tangente dell'inclinazione doppia di quella della latitudine magnetica, e per conseguenza sulla vera giacitura di molti punti dall'equatore magnetico che sonosi con questa formola determinati, applicandovi delle osservazioni d'inclinazione fatte in latitudini di 15, 25 o 30°;

3.° Ponendo l'ipotesi di due poli magnetici uguali e contrari in qualunque modo entro la terra situati, non esser possibile di rappresentare con sufficiente approssimazione tutte le declinazioni osservate, e nemmeno le declinazioni che appartengono all'equatore terrestre e ad un qualunque parallelo, e questa impossibilità non derivare da incertezze che vi possano essere sul vero andamento dell'aquatore magnetico.

§ VI. *Aurore boreali.*

546. Il fenomeno delle aurore boreali pare essere il più maestoso, il più imponente, il più splendido di quelli che possan presentarsi ai nostri sguardi, e nello stesso tempo il più intrigato, il più difficile e il più incomprensibile di quelli che si possano presentare alle nostre ricerche. Prima che le più elementari nozioni della scienza si fosser conosciute, le aurore boreali ammiravansi del pari che lo spuntare e il tramontar del sole, l'aspetto del cielo ed il moto degli astri. Da che poi ci è stato permesso di contemplarle con meno stupore, si ammirano, si osservano, si misurano, e frattanto niente ancora si sa sulla loro origine, sulle loro cagioni, sulle loro leggi, sulle condizioni fisiche e materiali delle loro apparizioni, e nè anche sul luogo che occupano, imperciocchè non si sa se sono nel seno dell'atmosfera o al di là de' limiti di essa. Esse formerebbero la disperazione della scienza, se la scienza potesse disperarsi; ma ogni giorno questa fa meglio conoscere esservi tra i fenomeni naturali dei legami di subordinazione necessaria, e però il tentare premature spiegazioni essere lo stesso che falsificare il metodo; essere d'uopo sapere ignorare o piuttosto sapere aspettare, cioè cercare de' fenomeni anzichè delle spiegazioni. Forse un semplice fatto finora inosservato basterà a squarciare il velo che da sì lungo tempo ci asconde il mistero dell'aurora boreale. Basta rendere aperta la grandezza del fenomeno e quella della nostra ignoranza a fare intendere che molti volumi non basterebbero ad esporre tutte le idee, tutte le ipotesi e tutti gli sforzi d'ingegno e d'immaginazione di cui ha formato l'obbietto. Non potendo imprendere qui tale esposizione, ci restringeremo a riferire la descrizione di una aurora boreale tal quale fu fatta sul luogo della sua apparizione dal Lottin luogotenente di vascello, uno de' più laboriosi e zelanti osservatori della spedizione d'Islanda.

L'osservatorio meteorologico dove il Lottin stette per otto mesi (dal settembre 1838 all'aprile 1839) era a Bossekop sulla costa

del West-Finmark a 70° di latitudine boreale: in questi dugento e sei giorni egli osservò 143 aurore boreali, tra le quali 64 intervennero durante la notte di settanta giorni che dura in quei luoghi dal 17 novembre fino ai 25 gennajo.

Ecco ora come il Lottin descrive il fenomeno: la figura 404 copiata sopra i disegni da lui fatti potrà far meglio intenderne la descrizione:

» La sera tra le ore 4 e le 8 quella nebbia leggiera che sempre domina nel nord verso il Fiord all'altezza di 4 in 6 gradi, si colora dalla parte di sopra o piuttosto si adorna di frange del colore dell'aurora che trovasi di dietro. Questi fregi diventano più regolari, e formano un bell'arco di color giallo pallido i cui orli sono diffusi ed i cui estremi si appoggiano sulla terra.

» Quest' arco ascende più o men lentamente, restando la sua cima nel meridiano magnetico o molto vicino al medesimo; il che non può essere con tutta precisione determinato, per cagione del suo muoversi in alto e della sua forma depressa.

» Tosto alcune strisce nericce dividono regolarmente la materia luminosa dell'arco: i raggi son formati; essi lentamente o in un momento si accorciano; *dardeggiano* crescendo o scemando di splendore. La parte inferiore, o i *piedi* de' raggi, hanno sempre una luce più viva e formano un arco più o meno regolare: la lunghezza di questi raggi è molto varia, ma tutti convergono verso lo stesso punto del cielo indicato dalla punta sud dell' ago d'inclinazione; qualche volta son prodotti fino al punto di loro riunione, formando così un segmento di una immensa cupola luminosa.

» L'arco continua a mostrarsi verso lo zenit; ha un moto ondulatorio nella sua luce, cioè da un piede all'altro lo splendore di ogni raggio si va facendo più intenso; queste specie di correnti luminose si mostrano molte volte di seguito, e più spesso dall'ovest all'est che all'opposto. Qualche volta, ma di rado, interviene un moto retrogrado immediatamente dopo il primo, e tosto che questa luce ha percorso successivamente tutti i raggi dall'ovest all'est, si dirige nel verso contrario, tornando così al punto di partenza, senza che si sappia se sono gli stessi raggi che hanno un moto di trasferimento quasi orizzontale, o se questa luce più viva si trasporta da un raggio all'altro di falda in falda senza che questi si muovano.

» L'arco anch'esso ha un moto alternativo in direzione orizzontale, che somiglia gli ondeggiamenti o le pieghe di un nastro o di un drappo agitato dal vento, siccome vedesi nella figura 404. Uno o entrambi i suoi piedi lasciano talvolta l'orizzonte; le pieghe allora diventano più numerose e meglio distinte, l'arco diventa una lunga zona di raggi, che si contorna, si divide in molte parti, formando delle graziose curve, che si raccolgono quasi in se stesse, ed offrono, in qualsivoglia parte del cielo, ciò che alcuni hanno probabilmente detto corone boreali. Allora lo splendore de' raggi tosto cangia di vivacità, vincendo quella delle stesse di prima grandezza; que' raggi dardeggiano con rapidità, le curve si formano e si svolgono a guisa delle piegature del serpente, indi i raggi si colorano: la base è rossa, il mezzo verde, il resto serba la sua tinta lucida giallo-chiaro. Questi colori hanno sempre, senza eccezione, conservate le loro rispettive giaciture; essi hanno una trasparenza maravigliosa: la tinta del rosso avvicinasi a quella del sangue chiaro, ed il verde somiglia quello di smeraldo pallido. Lo splendore va mancando, i colori si perdono tutti in un sol momento e a poco a poco dileguansi. Pezzi d'arco ricompariscono; l'arco si mostra un'altra volta intero, continuando a muoversi in alto verso lo zenit; per effetto di prospettiva i raggi compariscono più corti; si può allora giudicare della grossezza dell'arco, avvegnachè allora presenta una larga zona di raggi paralleli; indi la cima dell'arco giunge allo zenit magnetico dinotato dal punto sud dell'ago d'inclinazione. Allora i raggi si veggono da' loro piedi: in questo momento si colorano, e mostrano una larga zona rossa attraverso la quale distinguonsi le tinte verdi che lor sono di sopra; ma se essi ricevono quel moto orizzontale di cui di sopra è detto, i piedi formano una lunga zona sinuosa ed ondeggiante, nell'atto che in tutti questi continui cambiamenti i raggi non soffrono mai oscillazione secondo il loro asse e si conservano paralleli.

» In questo frattempo i nuovi archi sonosi presentati all'orizzonte, cominciando in un modo diffuso o con tutti i raggi formati e vivissimi. Essi succedonsi mostrando presso a poco le stesse fasi, e tengonsi ad una certa distanza l'uno dall'altro; sonosene così contati fino a nove, appoggiati sulla terra, ricordandoci per la loro disposizione quelle tele che nelle nostre scene teatrali vanno da una quinta all'altra e figurano il cielo. Talvolta gl' intervalli diminuiscono, molti di questi archi stringonsi l'uno verso l'altro: formasi

così una larga zona di raggi paralleli che attraversano il cielo e vannosi a perdere verso il sud, rapidamente infievolendosi passato lo zenit. Ma talvolta anche, quando questa zona occupa l'alto del cielo, estendendosi dall'est all'ovest, i raggi che hanno oltrepassato lo zenit magnetico sembrano tosto venire dal sud, e formano con que' del nord una vera corona boreale, i cui raggi convergono verso lo zenit. Laonde questa corona è certamente un effetto di prospettiva, e l'osservatore che in questo momento si trovasse a nord o a sud non vedrebbe altro fuorchè un arco.

» La zona totale del raggio essendo meno grossa secondo nord e sud che secondo est ed ovest, perchè spesso si appoggia sulla terra, così la corona è di figura ellittica. Ma ciò non sempre interviene: si è vista circolare, e i raggi disuguali non estendevansi oltre gli 8° in 12° dallo zenit, nell'atto che altre volte sono andati fino all'orizzonte.

» Se si pensa che allora tutti i raggi dardeggiano con vivacità, mutando continuamente e subitamente lunghezza e splendore, che belle tinte rosse e verdi di quando in quando li colorano, che intervengono i moti ondolatori, che le correnti luminose si succedono, e che finalmente tutta la volta celeste si trasforma in una maestosa cupola sfolgorante che soprasta ad un suolo coperto di neve che fa dal canto suo un chiarore in faccia ad un mare tranquillo e nero come un lago d'asfalto, anche si avrà un'idea imperfetta dell'ammirando spettacolo che all'osservatore si presenta senza che possa aspirare a descriverlo.

» La corona dura per alcuni minuti; essa talvolta formasi in un momento senza essere preceduta da verun arco. Di rado ve n'ha più di due nella stessa notte, e parecchie aurore non ne hanno punto mostrata.

» Quando la corona va mancando, tutto il fenomeno riducesi al sud dello zenit, formando archi più o meno pallidi i quali prima di giungere all'orizzonte dalla parte del sud comunemente si sperdono. Per lo più tutto questo interviene durante la prima metà della notte, dopo che l'aurora ha perduta la sua intensione; fasci di raggi, zone, frammenti di archi sembrano l'uno dopo l'altro dileguarsi; poscia i raggi diventano sempre più diffusi, sono splendori vaghi e deboli che finiscono per occupare tutto il cielo a guisa di piccioli *cumoli* (*cumulus*) dinotati col nome di *placche aurorali*. La loro luce lattea patisce sovente grandissime mutazioni d'intensione, come moti di dilatazione che propagansi dal centro alla circonferenza ed al contrario, richiamandoci a mente quegli animali marini chiamati *medusi*. Vien quindi una luce quasi crepuscolare, ed il fenomeno gradatamente infievolendosi finisce di essere visibile.

» Qualche volta i raggi veggonsi anche al cominciare del giorno, finanche quando senza difficoltà si può leggere un libro stampato: poi in un momento spariscono, o pure, crescendo il crepuscolo, essi divengono incerti, bianchicci, e finiscono per confondersi co' *cirrho-stratus*, in modo da non potersi distinguere da queste specie di nubi ».

Tale è l'apparizione dell'aurora boreale quando essa si mostra in tutta la sua pompa; ma o che lo stato del cielo e le circostanze atmosferiche non siano sempre favorevoli, o che le condizioni stesse da cui il fenomeno deriva non sieno tutte nello stesso tempo avverate, di rado interviene che si possa osservare un'aurora boreale compiuta come si vede nelle regioni settentrionali. Or la corona non si genera se non in modo vago ed incerto; or l'arco è incompiuto o in alcuni punti moltiplice; or finalmente si veggono delle nubi che intercettano la luce, si colorano sugli orli o nel loro interno, e che alterano in mille guise più o meno singolari la forma regolare dell'aurora boreale. Allora verso il nord anche si vede un'insolita luce ma il fenomeno è confuso e mal terminato. S'intende che vi possono essere mille apparenze più o meno maravigliose.

Abbiamo parlato solo dell'aurora boreale dell'emisfero boreale, ma un simile fenomeno si è anche osservato nell'emisfero australe, e non è da dubitare che anche verso il polo sud della terra non si generino anche delle aurore boreali, o se si vuole delle *aurore australi*. Ma le aurore del polo australe sono state vedute solo da'navigauti, non sono state osservate, misurate o descritte come le aurore boreali, e solo per induzione si crede che esse debbano avere le stesse attinenze col magnetismo terrestre.

FINE.

Giunta alla pag. 150.

450 *ter. Fiocchi colorati della luce polarizzata.* Haidinguer ha scoverto un segnalatissimo carattere, da lui per la prima volta osservato, e che, senza l'aiuto d'apparecchio alcuno, permette di distinguere la luce polarizzata da quella che non lo è, e di conoscere eziandio qual sia il piano di polarizzazione. Per riconoscere l'anzidetto carattere si procede così: si dirige l'occhio verso il cielo, senza guardar troppo fissamente, e senza cangiar di direzione l'asse visuale; ponendo allora un prisma di Nicol innanzi all'occhio, si osserva sulla regione del cielo, ove era volto lo sguardo, una croce vaga e diffusa, composta di quattro fiocchi, due gialli e due violetti, nel modo indicato in *j*, *j* ed in *v*, *v*, fig. 342, tav. 35. Se non si mostrassero immediatamente, basta girare, alquanto rapidamente, il prisma nella mano, senza molto cambiar la direzione dell'asse, e si vedranno mercè lo spostamento che essi provano nel campo della visione. Trovatili una volta, è facile provare, 1° che i due fiocchi gialli segnano la direzione del piano di polarizzazione, 2° che l'intero sistema di quattro fiocchi gira col piano di polarizzazione del raggio che attraversa il prisma, o con la stessa sezione del piano principale.

Quando il cielo è alquanto coperto, senza essere troppo splendente, la sperienza sembra più facile a farsi; ma essa intanto riesce quando il cielo è sereno.

Or la luce del cielo essendo, generalmente, polarizzata per se stessa, almeno in parte, avviene che per un occhio esercitato non è necessario il prisma di Nicol; guardando direttamente il cielo, e senz'alcun apparecchio, si veggono i fiocchi, e si riconosce benanche la direzione del piano di polarizzazione; poichè la luce naturale non è mai accompagnata da questi colori giallo e violetto.

Le ipotesi assunte per spiegare questo fenomeno singolare, non sembrano plausibili a sufficienza per poter essere esposte in questo luogo.

ERRORI E CORREZIONI

Errori	*Correzioni*
Pag. 265 lin. 31 ferro	rame
» » 46 ferro inargentato	rame inargentato
» » 53 idem	idem

INDICE

DELLE MATERIE

CONTENUTE NEL VOLUME 2.°

LIBRO QUARTO

DELLE AZIONI MOLECOLARI

CAPO I.

CAPILLARITA'

CAPO II.

DELLA STRUTTURA DEI CORPI

CAPO III.

DELL' ELASTICITA'

LIBRO QUINTO

ACUSTICA

CAPO I.

DELLA GENERAZIONE DEL SUONO E DELLA SUA PROPAGAZIONE NELL' ARIA ATMOSFERICA

CAPO II.

ESTIMAZIONE NUMERICA DE' SUONI PER MEZZO DELLE VIBRAZIONI DELLE CORDE, DELLE CANNE CILINDRICHE, DALLE LAMINE, DALLA SIRENA E DELLE RUOTE DENTATE

CAPO III.

VIBRAZIONI DE' CORPI SOLIDI

CAPO IV.

DEL MOTO DI VIBRAZIONE DELLE MASSE FLUIDE

CAPO V.

DELLE VIBRAZIONI DI ALCUNI ISTRUMENTI MUSICALI

CAPO VI.

DELLA VELOCITA' DEL SUONO NE' DIVERSI MEZZI

CAPO VII.

DELLA VOCE E DELL' UDITO

LIBRO SESTO

OTTICA

NOZIONI GENERALI SULLA PROPAGAZIONE DELLA LUCE

PARTE PRIMA

LUCE NON POLARIZZATA

CAPO I.

DELLA CATOTTRICA, OVVERO DELLA RIFLESSIONE DELLA LUCE

CAPO II.

DIOTTRICA O RIFRAZIONE DELLA LUCE

CAPO III.

SCOMPOSIZIONE E RICOMPOSIZIONE DELLA LUCE.

CAPO IV.

DELLE RIGHE DELLO SPETTRO, DELLA DISPERSIONE E DELL' ACROMATISMO

CAPO V.

DELLA VISIONE, E DEGLI STRUMENTI DI OTTICA

CAPO VI.

DELLE INTERFERENZE E DELLA DIFFRAZIONE

LIBRO SETTIMO

DEL CALORICO

PARTE TERZA

PROPAGAZIONE DEL CALORICO E CALORIMETRIA

CAPO I.

PROPAGAZIONE DEL CALORICO

§. I. *Fenomeni generali del calorico raggiante nell' aria e nel vuoto.*

§. II. *Fenomeni generali del calorico raggiante nei corpi diatermani.*

§. III. *Legge del raffreddamento, quantità di calorico emesse, e condizioni generali dell' equilibrio di temperatura.*

CAPO II.

CALORIMETRIA

§. I. *Capacità de' corpi pel calorico.*

§. II. *Calorico latente, calorico di combinazione, e mescugli frigorifici.*

LIBRO OTTAVO

METEOROLOGIA

CAPO I.

DEL CALORICO TERRESTRE

CAPO II.

DELL' ARIA E DE' VAPORI ATMOSFERICI

Igrometria.

CAPO III.

DELLA LUCE METEORICA

CAPO IV.

DELL' ELETTRICITÀ ATMOSFERICA

CAPO V.

DEL MAGNETISMO TERRESTRE